Р. Я. Миньковская

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗНОТИПНЫХ МОРСКИХ УСТЬЕВ РЕК

(на примере морских устьев рек северо-западной части Чёрного моря)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Морской гидрофизический институт РАН»

Р. Я. Миньковская

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
РАЗНОТИПНЫХ МОРСКИХ УСТЬЕВ РЕК**

(на примере морских устьев рек северо-западной части Чёрного моря)

Севастополь

2020

УДК 551.468.4+551.468.6

ББК 2-26.221:2-26.222

М62

Миньковская, Р. Я.

М62 Комплексные исследования разнотипных морских устьев рек (на примере морских устьев рек северо-западной части Чёрного моря) = Comprehensive studies of different types of river mouths (on the example of the river mouths in the north-western part of the Black Sea) : монография / Р. Я. Миньковская ; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН». – Севастополь : ФГБУН ФИЦ МГИ, 2020. – 364 с. : ил. 118 ; табл. 37 ; 29 см. – Библиог.: с. 331–364. – DOI 10.22449/978-5-6043409-2-9. – ISBN 978-5-6043409-2-9. – URL: http://mhi-ras.ru/assets/files/Minkovskaya_Kompleksnye_issledovaniya.pdf (дата обращения: 10.01.2020). – Текст : электронный.

ISBN 978-5-6043409-2-9

DOI 10.22449/978-5-6043409-2-9

Разработка концепции морских устьев рек как отдельных географических объектов на основе стратегии междисциплинарных исследований и около 6 млн. неэквидистантных данных наблюдений, при условии нестационарности устьевых процессов и нестабильной антропогенной нагрузки, позволила предложить универсальную структурно-гидрологическую типизацию устьев; установить их морские границы по минимальным значениям C_v солёности воды, районировать акватории от речных до морских границ и на основе этого усовершенствовать научную терминологию. Получены современные схемы распределения и установлены общие закономерности изменчивости основных характеристик состояния устьев в зависимости от разномасштабной изменчивости стока рек и уровня воды устьевых взморьев, а также предложены новые способы их расчёта, инвариантные для аналогичных устьев. Каталогизировано 54 негативных явления, установлены их взаимосвязи, причины и последствия. Выполнен анализ устьевых процессов, установлены закономерности изменчивости их основных характеристик от природных и антропогенных факторов. Предложены пути решения проблем природопользования в устьевых регионах северо-западной части Чёрного моря. Монография предназначена для океанологов, гидрологов, гидрохимиков, экологов, работников природоохранных, мониторинговых и контролирующих организаций, а также преподавателей, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

The development of the concept of sea estuaries as separate geographic objects based on a strategy of interdisciplinary research and about 6 million non-equidistant observation data, subject to nonstationarity of estuarine processes and unstable anthropogenic load, made it possible to propose a universal structural and hydrological typification of estuaries; to establish their maritime boundaries in terms of the minimum values of water salinity as C_v , to regionalize water areas from river to maritime boundaries and, on the this basis, to improve scientific terminology. Modern distribution schemes have been obtained and general patterns have been established for the variability of the main characteristics of the state of estuaries, depending on the variability of the river runoff and the water level of estuarine seashores, and new methods for their calculation, invariant for similar estuaries, are proposed. 54 negative phenomena are included in the catalogue; their interrelationships, causes and consequences are established. The analysis of estuarine processes has been carried out, the patterns of variability of their main characteristics from natural and anthropogenic factors have been determined. The ways of solving the problems of nature management in the estuarine regions of the northwestern part of the Black Sea are proposed. The monograph is intended for oceanographers, hydrologists, hydrochemists, ecologists, workers of environmental protection, monitoring and control organizations, as well as teachers, graduate students and students of relevant specialties.

УДК 551.468.4+551.468.6

ББК 2-26.221:2-26.222

Рецензенты:

доктор географических наук **Е. Е. Совга,**

доктор географических наук **А. В. Холопцев,**

доктор физико-математических наук **М. А. Соколовский**

Утверждено к печати Учёным советом ФГБУН ФИЦ МГИ (протокол № 7 от 10.09.2020 г.)

ISBN 978-5-6043409-2-9

© ФГБУН ФИЦ МГИ, 2020

DOI 10.22449/978-5-6043409-2-9

© Миньковская Р. Я., 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения и условные обозначения.....	5
Введение	7
Глава 1. Стратегия междисциплинарных исследований морских устьев рек	12
1.1 Состояние вопроса.....	12
1.1.1 Гидрологическая изученность, материалы и методики	14
1.1.2 Гидрохимическая изученность, материалы и методики	21
1.1.3 Изученность устьевых явлений и процессов	27
1.1.4 Исследование проблем природопользования	38
1.2 Стратегия междисциплинарных исследований и пути её реализации	41
Глава 2. Районирование и типизация морских устьев рек	46
2.1 Принципы типизации и районирования морских устьев рек	46
2.2 Структурно-гидрологическое районирование и усовершенствование научной терминологии	53
2.3 Типизация морских устьев рек	57
2.4 Районирование разнотипных устьев рек северо-западной части Чёрного моря	65
2.5 Общие физико-географические сведения об устьях рек	69
Глава 3. Современная гидролого-гидрофизическая характеристика типовых морских устьев рек северо-западной части Чёрного моря.....	74
3.1 Водный режим	74
3.1.1 Сток воды	75
3.1.2 Уровень воды	79
3.1.3 Течения	85
3.1.4 Баланс воды Днепровско-Бугского лимана и водные ресурсы Севастопольского региона.....	87
3.2 Режим наносов	91
3.2.1 Мутность воды	91
3.2.2 Донные отложения	94
3.2.3 Сток наносов	96
3.2.4 Баланс наносов Днепровско-Бугского лимана	99
3.3 Температура воды	100
3.3.1 Изменчивость температуры воды	100
3.3.2 Сток тепла.....	104
3.3.3 Баланс тепла Днепровско-Бугского лимана.....	105

3.4 Ледовые условия	108
3.5 Волнение.....	112
Глава 4. Абиотические компоненты устьевых экосистем.....	117
4.1 Минерализация	117
4.1.1 Изменчивость минерализации воды	117
4.1.2 Сток ионов.....	118
4.2 Солёность воды.....	120
4.2.1 Изменчивость солёности воды	120
4.2.2 Баланс солей Днепровско-Бугского лимана.....	130
4.3 Газовый состав и pH	131
4.3.1 Насыщение воды растворённым кислородом.....	131
4.3.2 Сероводород.....	134
4.3.3 Водородный показатель (pH).....	136
4.4 Биогенные вещества	138
4.4.1 Изменчивость концентрации главных элементов биогенного цикла	138
4.4.2 Сток главных элементов биогенного цикла.....	151
4.4.3 Баланс биогенных веществ Днепровско-Бугского лимана.....	156
4.5 Основные загрязняющие вещества	158
4.5.1 Изменчивость концентрации загрязняющих веществ	158
4.5.2 Сток загрязняющих веществ	171
4.5.3 Баланс загрязняющих веществ Днепровско-Бугского лимана.....	179
Глава 5. Опасные явления в морских устьях рек	181
5.1 Метеорологические явления	187
5.2 Гидрологические и другие гидрофизические явления	188
5.3 Комплексные явления	197
5.4 Гидрохимические и экологические явления	201
5.5 Экстремальное ухудшение качества воды	203
5.6 Заморные явления	206
Глава 6. Устьевые процессы	218
6.1 Геоморфологические процессы	219
6.2 Перераспределение стока рек между устьевыми рукавами	230
6.3 Обменные процессы	234
6.4 Процессы взаимодействия речной и морской воды.....	246
6.5 Проникновение галоклина в устья рек	258
6.6 Тепловые и ледовые процессы	271
6.7 Загрязнение водной среды	278

Глава 7. Проблемы природопользования в устьевых регионах

и пути их решения	293
7.1 Природопользование в устьевых регионах СЗЧМ, проблемы и решения ..	293
7.1.1 Дунайский устьевой регион.....	295
7.1.2 Днепро-Бугский устьевой регион	304
7.1.3 Бельбекско-Чёрнореченский устьевой регион.....	311
Заключение	317
Словарь терминов	322
Список литературы	331

СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ААНИИ	Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт
АБС	автоматическая буйковая станция
АИС ГВК	автоматизированная информационная система ГВК
БПК	биохимическое потребление кислорода
БВ	биогенные вещества
БС	Балтийская система высот
вдхр.	водохранилище
ВМФ	Военно-морской флот
ВНИРО	Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
в/п, водпост, пост	водомерный пост
ВМУР	вершина морского устья реки
ГВК	Государственный водный кадастр
гидроствор, г/с	гидрометрический створ
гидрофронт	гидрологический фронт
ГКП	государственное коммунальное предприятие
ГМО	гидрометеорологическая обсерватория
ГОИН	Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова
ГП	государственное предприятие
ГС	гидрологическая станция
ГУООПС	Государственное управление охраны окружающей природной среды
ГЭБЦ	главные элементы биогенного цикла
Д	дельта
ДБЗ	Дунайский биосферный заповедник
ДГМО	Дунайская гидрометеорологическая обсерватория
ЕС	Европейский союз
ЗАО	закрытое акционерное общество
ЗВ	загрязняющие вещества
ЗУВ	закрытое устьевое взморье
ИГ АН	Институт географии РАН
ИВП РАН	Институт водных проблем РАН
ИВПС КарНЦ РАН	ИВП Севера Карельского научного центра РАН
ИЗВ	индекс загрязнения воды
Ин БЮМ (ИМБИ)	Институт биологии южных морей (ФГБУН Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН)
ИО РАН	Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
ИРВ	измеренные расходы воды
КГЯ	катастрофические гидрологические явления
КДА	коэффициент донной аккумуляции
КМЯ	комплекс метеорологических явлений
КОС	канализационные очистные сооружения
Крымский ЦГМ, Крымское УГМС	Крымский центр по гидрометеорологии (ФГБУ Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды)
лаг.	лагуна
лаг.-оз.	лагуно-озеро
лим.-оз.	лимано-озеро
ЛУР МО УкрНИГМИ	Лаборатория устьев рек МО УкрНИГМИ
м БС-77	метров в Балтийской системе высот 1977 г.
МГИ РАН	ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН»

МГУ	Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
МГУОР	морская граница устьевой области реки
МО УкрНИГМИ	Морское отделение украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института
МСВ	международное скоординированное время
МУР	морское устье реки
НАНУ	национальная академия наук Украины
нб	не было (не наблюдалось)
НГД	нижняя граница дельты
НГУУР	нижняя граница устьевых участков реки
НГЯ	неблагоприятное гидрометеорологическое явление
не изм.	не измерялось
НУ	нефтяные углеводороды
НЦ ВСУ	Научный центр вооружённых сил Украины
НЦГМ	Николаевский центр по гидрометеорологии
ОВОС	оценка воздействия на окружающую среду
ОГСНК	Общегосударственная служба наблюдения и контроля окружающей среды
ОГХЯ	опасное гидрохимическое явление
ОГЯ	опасное гидрологическое явление
оз.-лим.	озёрно-лиман
ООГЯ	особо опасное гидрологическое явление
ООМЯ	особо опасное метеорологическое явление
ООЯ	особо опасное явление
ОУВ	открытое устьевое взморье
ОЧТ	Основное Черноморское течение
ОЭЯ	опасное экологическое явление
ОЯ	опасное явление
ПДК	предельно-допустимая концентрация
ПК	персональный компьютер
ПУВ	приглубое устьевое взморье
ПЭВМ (ПК)	персональный компьютер
РАН	Российская академия наук
РД	Руководящий документ
СЗЧМ	северо-западная часть Чёрного моря
СКО	среднее квадратическое отклонение
C_v	коэффициент вариации
СНиП	Строительные нормы и правила
СО ГОИН	Севастопольское отделение ГОИН
СПАВ	синтетические поверхностно-активные вещества
ст.	станция
СУМ	самописец уровня моря
СЭС	Санитарно-эпидемиологическая станция
ТОИ ДВО РАН	Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН
УУР	устьевой участок реки
УКИЗВ	удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды
ФЦП	Федеральная целевая программа
ХОП	хлорорганические пестициды
ЧАЭС	Чернобыльская атомная электростанция
ЧФ РФ	Черноморский флот Российской Федерации

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные, региональные и локальные изменения состояния Мирового океана, суши, рек, атмосферы и хозяйственной деятельности определяют режим и качество воды морских устьев рек (МУР) и в наибольшей степени отражаются на их эволюции, поэтому развитие представлений об этих географических объектах является актуальной проблемой океанологии и смежных дисциплин. Для их всестороннего изучения, осуществления экономической и природоохранной деятельности в отдельных районах Мирового океана накоплены материалы многолетнего мониторинга, но не везде результаты этих исследований анализировались комплексно из-за структурной сложности МУР и многофакторности устьевых процессов, что препятствует развитию науки о морских устьях рек, научному обоснованию хозяйственной деятельности, рациональному природопользованию в устьевых регионах. С одной стороны, в России, Америке, Китае, Вьетнаме, Бразилии и других странах устьевая океанография в последнее время развивается, широко используются спутниковые данные и математическое моделирование, опубликованы крупные работы междисциплинарного направления по устьям больших рек и множество научных статей. Но, с другой стороны, эти работы носили в основном фрагментарный характер, поскольку концепция комплексных исследований морских устьев рек, хотя и декларировалась, на практике не осуществлялась. Океанологи отдельно изучали устьевые взморья, гидрологи – устьевые участки рек и дельты, гидрохимические и гидробиологические исследования, зачастую, не сопровождались океанографическими, программы натурных исследований не согласовывались, отсутствовала межведомственная координация работ, система мониторинга не была оптимизирована. Во многих устьях малых рек стационарные наблюдения не велись. Это приводило как к перерасходу средств, так и к недостаточной изученности морских устьев рек, как целостных природно-антропогенных систем.

Пик исследования МУР отмечался в 40–70 гг. XX в. Наиболее крупные работы по устьевым исследованиям были сделаны И.В. Самойловым, С.С. Байдиным, А.М. Алмазовым, В.С. Антоновым, М.М. Роговым, А.И. Симоновым, D.W. Pritchard, D.V. Hansen, B.H. Ketchum, A.T. Ippen, G.H. Lauff и др., когда климат и уровень хозяйственного освоения устьев отличались от современных, а техническое обеспечение исследований было ниже. В СССР издавались монографии по геоморфологии, гидрологии и гидрохимии некоторых больших устьев рек или их частей, что давало определённое представление об этих географических объектах в целом, а также были разработаны руководства по исследованию морских устьев рек и ГОСТ 18457-73. В зарубежной литературе преобладали статьи, касающиеся отдельных аспектов устьевой океанографии, имеющих практическое значение. Часть работ была посвящена устьевым процессам – смешению речных и морских вод, приливам и отливам, дельто- и барообразованию, проникновению галоклина в устьевые водотоки, русловым, биогеохимическим и обменным процессам.

Во второй половине XX в., на базе ГОИН, сложилась школа отечественной науки о МУР, видными организаторами которой были С.С. Байдин, В.Н. Михайлов, И.В. Самойлов. Этими учёными, с коллегами, учениками и последователями, были разработаны основные концептуальные принципы и методология комплексных исследований морских устьев рек, на стыке гидрологии и океанологии как особых географических объектов, что явилось теоретической базой дальнейших исследований. Организованные ГОИН специализированные устьевые подразделения и отделения института стали субъектами мониторинга морских устьев рек СССР, а в дальнейшем – стран СНГ, основным звеном в системе ведения Государственного водного кадастра (ГВК) и Общегосударственной службы наблюдений и контроля за загрязненностью объектов природной среды (ОГСНК). Информационная база ГВК и ОГСНК (СО ГОИН) использована в данной работе. Большой вклад в развитие устьевой океанографии, кроме указанных выше, внесли следующие отечественные и зарубежные учёные: Н.И. Алексеевский, К.М. Беркович, В.В. Гордеев, Л.А. Журавлёва, В.В. Иванов, В.Н. Коротаев, М.Н. Костяницын, Нгуен Ван Кы, А.П. Лисицын, Ю.В. Лупачёв, Т.А. Макарова, А.Н. Олиферов, С.Г. Орадовский, М.М. Рогов, М.Ш. Розенгурт, Г.А. Сафьянов, В.Г. Симов, А.И. Симонов, Н.А. Скриптунов, В.М. Тимченко, Д.М. Толмазин, А.П. Цурикова, Р.С. Чалов, J.R. Crane, M.J. El-Sabh, B.H. Ketchum, J. Larras, G.H. Lauff, Ch.B. Officer, D. Prandle, D.W. Pritchard, J.R. Schubel, N. Silveberg и др. Устьевое направление исследований в настоящее время успешно развивается Д.Н. Айбулатовым, Д.Б. Бабичем, Н.А. Берлинским, А.Т. Божковым, Г.П. Гаркавой, О.В. Горелиц, С.Л. Гориным, П.С. Гранич, Е.Н. Долгополовой, Д.А. Домниным, Н.В. Журбас, П.О. Завьяловым, И.В. Земляновым, М.В. Исуповой, Д.В. Магрицким, И.В. Мискевичем, М.В. Михайловой, А.А. Осадчиевым, Л.П. Остроумовой, Е.С. Повалишниковой, П.Я. Тищенко, М.В. Третьяковым, Т.А. Харченко, М.К. Чебановой и др.

И если в России, после распада СССР, исследованиями МУР продолжают заниматься крупнейшие учреждения науки (ГОИН, ИО РАН, МГУ, ААНИИ, ТОИ ДВО РАН, ВНИРО, ИВПС РАН и др.), то в других странах Причерноморья комплексных исследований и работ по устьям рек нет. Например, в Украине устья больших рек исследовались не целиком, рассматривались: гидрология р. Дунай и водных объектов в дельте (1963, 2004 гг.), гидрология, гидроэкология взморья Килийского рукава (1963, 1993, 1998, 2004 гг.), гидрология (1964 г.), гидрохимия, гидробиология и гидроэкология (1990 г.) рек Днепр и Юж. Буг и Днепровско-Бугского лимана. То есть, после опубликования наиболее крупных работ прошло 16–57 лет, поэтому их затруднительно использовать для оценок современного состояния устьев, в условиях нестабильного хозяйствования и нестационарности гидрометеорологических условий. В настоящее время, с 2013 г., материалы комплексных наблюдений в морских устьях рек Украины недоступны, устья малых рек практически не изучались, а сеть мониторинга не только не развивается, но неуклонно сокращается. Поэтому ценным представляется анализ современного состояния устьев рек северо-западной части моря.

Несмотря на то, что суммарная площадь устьев рек составляет около 5 % от площади Чёрного моря, сток воды, веществ и тепла, бóльшая часть которого приходится на реки северо-западной части Чёрного моря (СЗЧМ), из них является одной из основных составляющих баланса моря. Изменения климата и уровня хозяйственной деятельности как в бассейнах рек, так и в их устьях, уже привели к изменению состояния, а также геоморфологических характеристик и экологических условий. В последнее время участились случаи загрязнения рек, заморные явления в Днепровско-Бугском и Днестровском лиманах и Таганрогском заливе, отмечается снижение биологического разнообразия и биопродуктивности. Эти негативные тенденции, связанные с освоением побережий и активизацией судоходства, а также перераспределение стока больших рек водохранилищами могут привести к неблагоприятным последствиям для природы устьев (в том числе биосферных заповедников международного значения), а, следовательно, и Чёрного моря.

Морские устья больших международных рек (Дуная и Днестра) являются трансграничными водными ресурсами, имеют важное значение в экономике причерноморских стран и оказывают заметное влияние на состояние западной и северо-западной частей Чёрного моря. Межгосударственное использование и охрана их ресурсов регламентируется международным правом, государственными кодексами и законами, а также Стратегическим планом действий по реабилитации и защите Чёрного моря (Стамбул, 31.10.1996 г.), Директивой Европейского парламента и Совета Европейского Союза № 2000/60/ЕС (Люксембург, 23.10.2000) и другими международными соглашениями и договорами. Развитие научных исследований морских устьев рек, в соответствии с Морской доктриной РФ входит в сферу интересов Российской Федерации. Однако проблемы освоения устьевых регионов и их сохранения остаются пока нерешёнными, особенно в малоизученных устьях малых рек, которые играют существенную роль в экономике Крыма.

Методическая база исследования морских устьев рек недостаточно разработана. До настоящего времени морские границы и размеры устьев не определялись, что препятствовало их включению в законодательства причерноморских государств в качестве объектов водных отношений, обоснованному выделению прибрежных защитных полос и водоохранных зон. Это привело к застройке территорий, подверженных негативным процессам, и увеличению экономического ущерба от опасных явлений. Отсутствие современных знаний о состоянии устьев рек рассматриваемого региона препятствовало пониманию устьевых явлений и процессов, включая опасные, выявлению их особенностей и общих закономерностей, развитию концепции природно-антропогенных устьевых экосистем, порождало недостаток теоретических и практических решений водохозяйственных проблем, обусловленных регулированием стока рек, его перераспределением, освоением акваторий и побережий, увеличением водозабора и сброса сточных вод, дефицитом питьевой воды, что приводило к нерациональному использованию природных ресурсов и средств, загрязнению водной среды, территориальным диспропорциям социально-экономического развития и депрессивности устьевых регионов.

Одной из причин (наряду с указанными выше) проблем природопользования в Причерноморье было отсутствие стратегии междисциплинарных исследований морских устьев рек. Поэтому в данной работе такая стратегия предложена и апробирована для устьев рек СЗЧМ.

Таким образом, актуальность работы обусловлена объективной необходимостью повышения эффективности устьевых исследований и восполнения пробелов в понимании современного состояния морских устьев рек северо-западной части Чёрного моря, так как в настоящее время практические запросы, обусловленные увеличением антропогенной нагрузки на акватории и побережья, превышают нереализованные возможности науки по их удовлетворению и обоснованию водохозяйственных мероприятий. Интеграция знаний смежных дисциплин при анализе многолетних наблюдений основных характеристик режима и качества воды позволяет приблизить решение этой проблемы и, в какой-то мере, снять это противоречие.

Работа выполнялась в Лаборатории устьев рек СО ГОИН (МО УкрНИГМИ и Отделе гидрофизики шельфа. Морского гидрофизического института (МГИ РАН) на основе баз данных этих институтов, базы данных ГВК, созданной автором базы данных, интеграции современных представлений океанологии, гидрологии суши, гидрохимии, геоморфологии, экологии, природопользования и др. наук. В качестве эмпирической базы использовался массив океанографических данных СО ГОИН и МГИ РАН за период 1961–2017 гг., материалы наблюдений Николаевского ЦГМ (1961–2012 гг.) и Крымского УГМС (1961–2017 гг.), Дунайской и Каховской ГМО, МГС Опасное, ГС Херсон и Первомайск, Гидрографии ВМФ им. Л.И. Митина, Николаевского управления мелиорации и водного хозяйства (1961–2012 гг.), ИнБЮМ (ИМБИ), других учреждений, служб и ведомств, включающие около 6 млн. гидрологических, гидрохимических и прочих наблюдений: стационарных и экспедиционных в реках, на их устьевых участках, устьевых взморьях и прилегающих частях моря, рейдовых, ледокольных, ледово-профильных, тематических, многосуточных, ежечасных и учащённых, а также наблюдений с самолётов и спутников. Спутниковые снимки были предоставлены С.В. Станичным (Отдел дистанционных методов исследования МГИ РАН).

Океанологическая часть исследований заключалась в изучении режима и качества воды устьевых взморьев как водных объектов на границах океан–суша и анализе их взаимосвязи, процессов смешения речных и морских вод, проникновения морской воды в устьевые водоёмы и водотоки, влияния речного стока на устьевые взморья, обменных процессов и оценке составляющих баланса воды, тепла и веществ. Также изучались геоморфологические, ледовые и тепловые процессы, характерные для устьевых взморьев. Гидрологические исследования включали анализ состояния устьевых участков рек и рукавов, изменчивости основных характеристик и оценку выноса реками воды, тепла и веществ. Гидрографическая характеристика заключалась в выявлении особенностей и общих черт рельефа, климата, хозяйственного освоения. Геоморфологические особенности и их связь с гидрологией исследовались для понимания эволюции устьев, их райо-

нирования и типизации, а также прогнозных оценок. Вопросы гидрохимической океанографии освещались без исследования химических преобразований и процессов, а лишь для анализа изменчивости качества воды под влиянием гидрологических и антропогенных факторов, оценки балансовых составляющих. Из-за отсутствия достаточных для анализа наблюдений за мутностью воды, концентрацией взвешенных веществ, содержанием органических веществ и донными отложениями, не рассматривались вопросы седиментации, сорбции-десорбции, коагуляции, флокуляции и другие биогеохимические процессы, характерные для морских устьев рек и подробно изложенные в фундаментальных исследованиях В.В. Гордеева, А.П. Лисицына и работах Ю.Н. Гурского. Несмотря на то, что биотическая компонента экосистем морских устьев рек не рассматривалась (из-за прекращения систематических гидробиологических наблюдений после 1991 г.), часть работы посвящена эколого-гидрологическим исследованиям – процессам ухудшения качества воды, заморным явлениям, формированию зон экологических рисков. Выполненный анализ природопользования в устьевых регионах и предложения по его усовершенствованию направлены на сбережение, охрану и восстановление природных ресурсов МУР.

В качестве объектов исследования выбраны разнотипные морские устья рек: трёхкомпонентные устья рек Дунай (с открытым взморьем и дельтой), Днепр и Юж. Буг (с закрытым и открытым взморьем и дельтой) и двухкомпонентные устья рек Чёрная (с закрытым взморьем) и Бельбек (с открытым взморьем). Выбор объектов исследования обусловлен достаточной обеспеченностью натурными данными и тем, что устья рек этого региона охватывают всё многообразие устьевых областей рек не только Чёрного и Азовского морей, но и рек мира. Предметом исследования являлись: изменчивость основных характеристик режима и качества воды, их взаимосвязи и зависимости от обуславливающих факторов; явления и процессы; особенности и проблемы природопользования в указанных МУР СЗЧМ.

За ценные замечания и советы автор выражает благодарность академику НАНУ и РАН, д.ф.-м.н., проф. В.А. Иванову, д.г.н. П.О. Завьялову, д.г.н. Е.Е. Совга, д.ф.-м.н. Н.Б. Шапиро, д.ф.-м.н. И.Е. Тимченко, д.ф.-м.н. А.С. Самодурову, д.г.н. Н.С. Лободе, д.г.н. Н.Л. Фроловой, д.г.н. Д.Я. Фашуку, к.г.н. И.Г. Шокуровой, к.ф.-м.н. А.В. Прусову, к.ф.-м.н. В.И. Пономарёву, д.г.н. Б.И. Гарцману, д.г.н., проф. Л.А. Беспаловой, д.г.н., проф. А.В. Христофорову, д.г.н., проф. А.В. Холопцеву, д.ф.-м.н. В.Т. Паки, д.х.м. П.Я. Тищенко, д.б.н. В.И. Звалинскому, Dh, к.ф.-м.н. С.П. Любарцевой, PhD Фунг Ван Фатю, д.ф.-м.н. М.А. Соколовскому, д.ф.-м.н. Г.М. Резнику, д.г.-м.н. В.В. Гордееву, к.г.н. Д.В. Магрицкому, к.г.н. Л.П. Остроумовой, д.т.н. А.Е. Щодро, А.Н. Демидову, а также коллегам, осуществлявшим сбор, систематизацию и подготовку информационной базы, принимавшим участие в разработке программного обеспечения расчётов и в различных совместных работах.

Книга предназначена интересующимся природопользованием и исследованием морских устьев рек, а также может использоваться как справочно-монографическое и учебное пособие.

ГЛАВА 1 СТРАТЕГИЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОРСКИХ УСТЬЕВ РЕК

1.1 Состояние вопроса

Реки северного побережья Чёрного моря (от устья р. Дунай до устья р. Цемес, включительно, исключая реки Азовского моря, ранее частично рассмотренные в работе [211]), впадающие в лиманы, заливы, бухты, лагуны, имеющие водообмен с морем, а также отделённые от него косами, пересыпями или дамбами, образуют (или образовывали в историческом прошлом) морские устья рек (рис. 1.1). Они сформированы реками разного размера (малыми, средними, большими) и роль приливов в них незначительна [93; 238]. В настоящее время в северном Причерноморье такие морские устья имеют реки: малые (с постоянным и непостоянным стоком, длиной более 10 км, исключая ручьи и балки) – 35, средние (длиной более 200 км) – 4 и большие (длиной более 1000 км) – 3.

Рисунок 1.1 – Северная часть Чёрного моря

Наличие в структуре МУР водотоков, водоёмов, как пресных, так и осолонённых, особых водных объектов, искусственных гидротехнических сооружений, влияющих на режим, а также взаимосвязанность геоморфологических и гидрологических процессов обуславливают их типовое многообразие, сложности при районировании и типизации устьев, требуют от исследователей морских устьев рек знаний различных научных дисциплин [255; 353; 410]. С одной стороны, такая универсальность ограничивает глубину научных разработок отдельных аспектов океанологии, с другой, детальная разработка конкретных научных проблем или отдельных сторон режима МУР, зачастую, не позволяет вскрыть всю сложность многофакторных устьевых процессов, взаимосвязь между элементами режима в сложной природно-антропогенной системе, какой является морское устье реки. Поэтому изученность этих географических объектов до сих пор недостаточна, особенно морских устьев малых рек (83 % от общего числа

устьев). Остаются неустановленными границы и размеры устьев (рис. 1.1), характеристика их состояния [55; 156] и использующийся понятийный аппарат [72] устарели [123, с. 18–28; 209].

Необходимость изучения современного состояния рассматриваемых морских устьев рек обусловлена тем, что немногочисленные предшествующие исследования не только устарели на 50–60 лет [55; 156; 311; 322], но и являлись неполными, так как касались только некоторых аспектов режима отдельных частей устьев больших рек [52, 94]. Эпизодические наблюдения в устьях малых рек не анализировались. В то же время, практические запросы в области освоения ресурсов и транспортного использования МУР возрастают [151; 241; 269], что требует восполнения пробелов в знаниях о режиме и качестве воды морских устьев рек. Поэтому для характеристики состояния разнотипных МУР применён междисциплинарный подход, включающий широкий комплекс палеогеографических и современных натурных данных, анализ геоморфологических особенностей, гидрохимического, гидрохимического режимов, явлений, процессов и их роли при организации эффективного природопользования.

При измерении и обработке первичных данных применялись стандартные методики и оборудование, регламентируемые практикой ведения ГВК на сети гидрометеослужб СССР, Украины и России [78–84; 303–305], что гарантирует достоверность полученных в данном обобщении результатов. Выбор расчётного периода (1961–2012 гг.) связан как с общими климатическими тенденциями [143; 306], так и с тем обстоятельством, что в этот период сток рек в основном был уже зарегулирован водохранилищами и прудами и его режим стабилизировался. Данные наблюдений по украинской части рассматриваемого региона после 2012 г. в фонды не поступали по объективным причинам. Статистические характеристики рассчитывались в соответствии с [77; 186–188; 296; 303; 304].

Однородность рядов наблюдений оценивалась по критерию Вилькоксона [296; 302]. Ошибки большинства рассчитанных статистических параметров режима и качества воды не превышали 10 %, что свидетельствует о близости анализируемых средних значений к нормам [296]. Оценка статистических характеристик и статистической значимости полученных зависимостей выполнялась с использованием *t*-статистики Стьюдента и *F*-критерия Фишера [77; 133; 297]. Их точность, в соответствии с [1; 4; 21; 41; 47; 51; 133; 182; 260; 277; 297; 303], была допустимой в практике обобщений океанографической информации. Коэффициенты корреляции приводимых зависимостей имели статистическую значимость с уровнем, не более 0,05. Правильность оценок проверялась балансовым методом, отмечалась сходимость результатов расчётов с натурными данными и литературными источниками. Значимость тенденций оценивалась с помощью *F*-критерия для вероятности неравенства нулю углового коэффициента на уровне 99 и 95 % [260]. Коэффициенты корреляции определялись методом Пирсона [296]. Ошибки коэффициентов корреляции были в пределах 1–10 %. Качество статистических связей

в соответствии с [287] оценено как «хорошее» (категории качества связей были равны 0,4–0,5).

1.1.1 Гидрологическая изученность, материалы и методики

Важным аспектом изучения морских устьев рек являются гидрологические и гидрофизические особенности их режима, обусловленные как разнотипностью устьев, так и количеством воды, энергии и веществ, поступающих в эти водные объекты из реки и моря. Поэтому, кроме гидрологических характеристик (стока воды, уровня и течений), для всестороннего исследования устьев рек рассмотрен режим наносов, температуры воды, сток наносов и тепла, волнение и ледовые условия.

Современная гидрологическая характеристика впервые дана на основе материалов наблюдений Дунайской и Каховской ГМО, Николаевского и Крымского ЦГМ (ФГБУ «Крымское УГМС»), МО УкрНИГМИ (СО ГОИН), МГИ НАНУ (ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН») и др. организаций [114; 117; 119; 120] за последние 50 лет по однородным рядам наблюдений.

Схемы сети пунктов наблюдений и её динамика представлена в материалах [83; 123; 216] и на рис. 1.2–1.4. В связи с сокращением наблюдений в последние годы на отдельных океанографических станциях, пропуски в наблюдениях восполнялись и ряды удлинялись по корреляционным зависимостям, оценка которых была хорошей [287; 296].

Основные характеристики стока воды рассчитаны в вершинах МУР (р. Дунай – г. Рени, р. Днепр – Каховская ГЭС, р. Юж. Буг – пгт Александровка, р. Бельбек – с. Фруктовое, р. Чёрная – с. Хмельницкое) и в основных рукавах рек Дунай и Днепр. Тенденции стока рек оценивались по критерию Фишера [260] для однородных рядов наблюдений, в отличие от работы [266], где анализ трендов выполнен неверно. Обобщались измеренные и ежесуточные расходы воды всех рек, исключая р. Днепр, где также анализировались ежечасные значения расхода воды у Каховской ГЭС (для оценки суточной изменчивости). В отличие от предшествующих исследований [92; 163; 172; 244], внутригодовое распределение стока воды, рассчитывалось по гидрологическим сезонам (а не по календарным) для среднего по водности года, в соответствии с [71; 186; 290; 305], что позволило более достоверно оценить доли стока устьеобразующих рек в разные сезоны года. Всего для анализа стока использовано 657 тыс. наблюдений.

Характеристика изменчивости уровня воды сделана по наблюдениям 23 (437 тыс. средних суточных значений) водомерных постов и 1,1 млн. данных 9 самописцев уровня воды [78; 81; 83; 84].

Рисунок 1.2 – Схема сети наблюдений в украинской части устья р. Дунай

б)

Рисунок 1.3 – Схема сети наблюдений в устье рек Днепр и Юж. Буг (а) и в дельте р. Днепр (б)

Рисунок 1.4 – Схема сети наблюдений в устьях рек Бельбек и Чёрная

Такой массив данных использован впервые. Наблюдения были равномерно распределены по акваториям устьев, исключая Севастопольскую бухту, где уровень измерялся только в её центре, и устье р. Бельбек, где уровень никогда не измерялся. Анализ зависимостей уровня воды от стока рек выполнялся в соответствии с [171].

Данные о течениях при различных ветровых ситуациях и разном стоке рек приводятся в работах [298; 318; 327; 328; 329], а моделирование течений предпринято в работах сотрудников МГИ РАН, СО ГОИН и др. [117–120; 176; 246; 344; 345; 346; 359; 402; 403; 414]. Однако методики обобщения натурных данных о течениях (и полученные по ним результаты), а также модели, предлагаемые в этих работах, либо к рассматриваемым устьям не адаптировались, либо получены только ситуативные схемы для отдельных сочетаний стока и ветровых условий. Поэтому они, как и осреднённые за отдельные месяцы схемы течений в СЗЧМ, представленные в работах [60–62], не дают представления о преобладающих течениях, то есть о климатических особенностях динамики вод.

Схемы течений по натурным данным для устьев рек Чёрная и Бельбек не были построены, в литературных источниках [156; 240; 298; 299; 320; 328; 329] приводилась только повторяемость течений в Кинбурнском проливе Днепровско-Бугского лимана, а в работах [32; 55] были даны схемы поверхностных течений на взморье р. Дунай по визуальным и разовым наблюдениям в периоды устойчивых ветров.

Для восполнения указанного пробела впервые, на основе обобщения 75 тыс. наблюдений за течениями и 18 тыс. наблюдений за направлением и скоростью ветра в период океанографических съёмок, 15 тыс. ИПВ (измеренных расходов воды) в устьевых водотоках, построены схемы преобладающих (суммарных) течений на устьевых взморьях разного типа, характеризующие их режим в последние 35 лет.

Для анализа краткосрочной изменчивости течений анализировались материалы наблюдений на 32 многосерийных и 8 буйковых станциях (рис. 1.2–1.4). Массив такого объёма данных наблюдений за течениями в рассматриваемых МУР анализировался впервые [207].

Обобщение направления ветра и течений по 8 румбам выполнялось путём построения распределения характеристик по градациям скорости. Измерения производились, в основном, с апреля по ноябрь при различных гидрометеорологических условиях, исключая экстремальные, на стандартных горизонтах (0, 3, 5, 10, 15, 20 м, в слое скачка плотности, а также в придонном слое, располагавшемся на глубинах 2–48 м), в соответствии с [303]. На схемы распределения в масштабе наносились векторы преобладающих на станциях направлений течений, скалярные величины которых были равны средним значениям скорости соответствующего преобладающего переноса в точке измерений.

Особенности процессов наносообразования в бассейнах рек, транспорта наносов и аккумуляции на отдельных участках МУР, а также изменчивости мутности воды рек рассмотрены в работах Гожики П.Ф., Шнюкова Е.Ф., Шамова Г.И., Тимченко В.М., Страхова Н.В., Гордеева В.В., Лисицына А.П., Milliman J.D. и др. [49; 52; 68; 69; 166; 341; 342; 415]. Результаты, приведенные предшествующими авторами, в основном подтверждаются в данном обобщении, полученном по более длинным и современным рядам наблюдений.

Мутность воды определялась эпизодически в различных частях устьевых водотоков (р. Дунай), выше вершин МУР (Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Чёрная, Бельбек) или вообще не определялась, как например, на устьевых взморьях рек или на устьевом участке р. Днепр из-за её низкого значения после сооружения каскада водохранилищ.

Неэквидистантные наблюдения за концентрацией взвешенных веществ, выполнявшиеся в различных частях устьев эпизодически, не дают возможности проанализировать геохимические процессы, как это сделано в работах Гордеева В.В. [68; 69], Лисицына А.П. [166]. Поэтому результаты обобщения 165 тыс. наблюдений за мутностью воды, приведенных в ГВК

[78; 81; 83], по которым рассчитан сток наносов в вершинах морских устьев рек в современный период, являются приближёнными.

В работе приводятся обобщённые схемы распределения донных отложений на устьевых взморьях, построенные по литературным источникам [18, 19, 328].

На основе данных сети (рис. 1.2–1.4) наблюдений [83] впервые выполнен анализ современного режима температуры воды. Ранее полученные характеристики либо устарели [55; 156], либо касались только водных объектов в дельте р. Дунай [52] или Севастопольской бухты [17; 121]. При расчёте стока тепла, сток воды учитывался по замыкающим створам рек, температура воды – на нижних границах устьевых водотоков. Если наблюдалось неоднородное распределение температуры воды в поперечном сечении водотоков, то средняя температура в створе рассчитывалась по её зависимостям от температуры воды у берега на водомерных постах. Эти зависимости получены по материалам специальных исследований, организованных автором [123, с. 356–366; 190; 216, с. 217–219]. Всего использовано 2,62 млн. стационарных, 117 тыс. экспедиционных и около 52 тыс. многосерийных наблюдений за температурой воды и воздуха. Измерения температуры воды в глубоководных частях устьев выполнялись на стандартных горизонтах (одновременно с наблюдениями за течением), на водомерных постах – у берега, в поверхностном слое.

Анализ основных характеристик ледового режима был сделан на основе материалов стационарных, авиа-, ледокольных и ледово-профильных наблюдений [78; 81; 83; 84; 190], а также специальных экспедиционных исследований ледового режима по программе и при участии автора. В обобщении использовалось 107 тыс. наблюдений за ледовыми явлениями, толщиной льда, ледовитостью и др. характеристиками.

Недостаточно изученной гидрофизической характеристикой морских устьев рек являлось волнение. Наиболее разработанная и мелкомасштабная модель МГИ для расчёта его характеристик не была адаптирована к морфометрии взморьев, как и спектральная модель *SWAN*, позднее использовавшаяся авторами работ [5; 6]. Поэтому впервые анализ режима волнения был выполнен на основе разработок СНиП [330], с помощью которых автором построены поля волнения для преобладающих и волноопасных направлений ветра, рассчитаны высоты волн (максимально возможная и 1 % обеспеченности), средние периоды, длины волн и другие характеристики волнения, приведенные в работах [123; 195; 208; 216]. Поля волнения рассчитывались по сетке станций 5х5 км (взморье р. Дунай и открытая часть взморья рек Днепр и Юж. Буг), 2,5х2,5 км (Днепровский лиман), 1х1 км (Бугский лиман) и 0,2х0,2 км (Севастопольская бухта и взморье р. Бельбек).

Позднее Алексеевым Д.В., с помощью модели *SWAN*, было выполнено математическое моделирование ветрового волнения в Севастопольской бухте [5] с пространственным

разрешением 0,01x0,01 км и Днепровско-Бугском лимане [6] с разрешением 0,3x0,3 км. В этих работах представлены схемы волнения только для ветров волноопасных направлений редкой повторяемости (20–25 м/с). В основном, полученные в [5, 6] характеристики штормового волнения близки к ранее рассчитанным автором [123; 208]. Однако в работе [6] схемы распределения высоты волн в Днепровско-Бугском лимане одинаковые, однородные для всех направлений ветра (25 м/с) и не зависят от его длины разгона (иногда отличающейся на порядок) и глубины, а в Севастопольской бухте, при ветре 20 м/с разных направлений и менее изменчивой длине разгона (разнящейся в 6 раз), высота волн отличается в 5 раз [5], что авторами никак не поясняется.

Для получения количественных оценок применялась методология, статистические и балансовые методы, изложенные в рекомендациях СНиП, действующих нормативных документах, изданиях ГВК и апробированные в работах исследователей морских устьев рек различных регионов [1; 4; 12; 15–19; 21; 24; 25; 32; 35; 41; 51; 52–62; 66; 77; 78; 80; 81; 83–85; 99; 100; 133; 139; 156; 172; 182; 186–188; 234; 235; 238; 244; 245; 254; 255; 260; 277; 290; 292–297; 302–306; 316; 321; 327–330; 341; 342], а также собственные разработки автора, представленные в работах [184 19; 123; 189–192; 196–199; 204; 207; 208; 210; 213; 216; 219; 220; 222; 224; 230], что позволило проанализировать средние, экстремальные и вероятностные значения режимных параметров и выявить причинно-следственные связи между ними.

Расчёт составляющих водного баланса Днепровско-Бугского лимана и Севастопольского региона осуществлялся на основе стационарных и специальных наблюдений [78; 81; 83; 84]. Для Днепро-Бугского региона осадки рассчитывались как средние арифметические по данным метеостанций Николаев, Херсон и Очаков. Испарение с водной поверхности, для сравнения с предшествующими результатами [62; 190], определялось по рекомендации Самойленко В.С. [310], с использованием стационарных и экспедиционных наблюдений в устье рек Днепр и Юж. Буг и данных испарителя в г. Херсоне. Составляющие водообмена между закрытой и открытой частями устьевого взморья рассчитывались по специальным и рейдовым наблюдениям в Кинбурнском проливе, выполненным НЦГМ, МГС Очаков, СО ГОИН (в 1965–2012 гг.) при различных гидрометеорологических условиях, за исключением экстремальных (имевших незначительную повторяемость), по методике, рекомендованной в [304] и апробированной для расчёта водообмена через Керченский пролив Альтманом Э.Н. в [9]. Расчёт водообмена через Кинбурнский пролив осуществлялся аналогично методу, подробно изложенному в работах [62; 141], по полученным автором, при исследовании обменных процессов (Глава 6, с. 238), расчётным зависимостям прямого и обратного расходов воды от результирующего значения переноса [222]. Так как измерение расходов воды в Кинбурнском проливе

осуществлялось при различном суммарном стоке рек и ветре, составляющие водообмена получены при комплексном воздействии всех основных факторов и являются интегральными характеристиками переноса воды через сечение пролива. Это позволило упростить расчёты водообмена, не дифференцировать его по отдельным составляющим и получить более точный результат, чем в [299; 329], уменьшив невязку баланса воды (тепла и веществ).

Оценка составляющих водного баланса Севастопольского региона, водных ресурсов и их использования сделана на основе наблюдений Крымского УГМС [81] в г. Севастополе и в замыкающих створах рек Чёрная, Бельбек и Кача, материалов Управления водного хозяйства [46], Государственного управления охраны окружающей природной среды в г. Севастополе [103], ЗАО «КрымНИОпроект» [272; 363] и других организаций и ведомств, а также расчётов автора, приведенных в работе [198].

1.1.2 Гидрохимическая изученность, материалы и методики

Сложность и своеобразие условий формирования гидрохимического состава речных и морских вод, недостаточные знания о процессах их смешения, нерегулярность определения гидрохимических ингредиентов, нестабильное хозяйствование, приводящее к эпизодичности загрязнения, обуславливают трудности в изучении абиотических компонентов устьевых экосистем, знания о которых ограничены сведениями о солевом и газовом составе, водородном показателе, биогенных и загрязняющих веществах.

Ранее различные аспекты гидрохимического режима отдельных частей морских устьев рек рассматривались в работах [7; 8; 11; 17; 20; 28; 29; 31; 42; 48; 63–65; 68; 94; 105; 107; 108; 121; 142; 156; 158; 160; 161; 164; 180; 181; 242; 244; 255; 270; 300; 311; 314; 315; 319; 322; 323; 332; 333; 341; 343; 345; 346; 348; 350; 355; 357; 358; 361; 372; 373; 383; 388; 405; 412; 413; 415; 418; 433–435; 437], в основном, при конкретных гидрометеорологических ситуациях или не в устьях рек СЗЧМ. Наибольший вклад в исследование гидрохимии рассматриваемых устьев рек внесли Алмазов А.М., Журавлёва Л.А., Овсяный Е.И., Коновалов С.К., Гордина А.Д., Симонов А.И., Совга Е.Е., Тучковенко Ю.С., Гаркавая Г.П., Рясинцева Н.И., Рябинин А.И.

Анализ изменчивости абиотических компонентов устьевых экосистем СЗЧМ в современный период выполнен на основе данных ГВК, подготавливаемого Николаевским и Крымским УГМС (ЦГМ), ДГМО и СО ГОИН (МО УкрНИГМИ), материалов наблюдений Каховской ГМО, ГС Херсон и Первомайск за период с 1976 г. по 2012 г. Также использовалась база данных МГИ РАН (НАНУ) с 1998 по 2017 гг. [79; 80; 82; 83]. Система мониторинга, методы отбора и анализа проб стандартизированы и изложены в [8; 47; 63; 64; 281; 287; 289] и ГВК

[79; 80; 82; 83], ряды наблюдений, согласно [188; 296; 302], однородны. Горизонты наблюдений (за исключением определения солёности) были ограничены поверхностным и придонным слоями, что не позволило получить подробные эпюры распределения ряда ингредиентов. Всего использовано 944 тыс. наблюдений абиотических характеристик среды (359 тыс. определений солёности воды и в среднем по 45 тыс. – ГЭБЦ и ЗВ). Схемы станций мониторинга приведены на рис. 1.2–1.4.

Морские устья рек разделены на три характерных района: 1) устьевые участки рек, где преобладало хорошее перемешивание и транзит растворённых веществ (зона транзита); 2) устьевые рукава рек Дунай и Днепр – зона первичной трансформации и 3) устьевые взморья – зона преобразования веществ под действием волнения, перемешивания, диффузии, гидрохимических и биогеохимических процессов, с характерной стратификацией воды.

Полученные результаты дают представление о средних многолетних характеристиках, обусловленных постоянно действующими источниками загрязнения в МУР и транзитом веществ с речным стоком.

Экстремальные гидрохимические характеристики, обычно локализованные на небольшой акватории и отмечавшиеся кратковременно и эпизодически, анализировались отдельно (**Глава 5**, с. 186, 201–206) и, в соответствии с рекомендациями [21], не использовались при осреднении.

Обобщение выполнялось в соответствии с нормативными документами, Наставлениями и Рекомендациями [47; 75; 183; 185; 188; 251; 278–281; 284; 287; 303; 312]. Солёность воды определялась в зависимости от её хлорности по региональным формулам [8; 83; 123, с. 378].

Сток главных ионов в устья – малоизученный, но важный экологический параметр [415]. Он рассчитывался как произведение концентрации и расхода воды по общепринятой методике, изложенной в [51]. Его значения для МУР СЗЧМ в современный период получены впервые.

Солёность воды – основная гидролого-гидрохимическая характеристика режима МУР. Её распределение на устьевом взморье, как рекомендовано в статье Лисицына А.П. [166], было применено в работах автора [123, с. 434–446; 214; 216, с. 273–282; 219; 224] в качестве критерия для определения устьевых границ (**Глава 2**, стр. 67, 68) и показателя процессов взаимодействия речной и морской воды (**Глава 6**, с. 246–253). Предшествующими авторами изменчивость солёности воды в разной степени исследовалась в работах [8; 11; 32; 48; 55; 62; 94; 105; 121; 125; 131; 152; 156; 175; 299; 317; 322; 328; 372 и др.]. Ивановым В.А., Кубряковым А.И., Михайловой Э.Н., Любарцевой С.П., Шапиро Н.Б. были сделаны удачные попытки моделирования распределения солёности на открытых устьевых взморьях [116–119]. Однако в указанных публикациях климатические поля солёности в МУР не приводятся, за исключением

работы [11], где обобщались данные о средней месячной солёности взморья Килийского рукава р. Дунай за 1959–1978 гг.

В некоторых работах представлены зависимости между стоком реки и солёностью воды в отдельных точках или средней солёностью объёма взморья. При этом не всегда учитывалась вертикальная неоднородность её распределения.

Автором в работе [216, с. 269] показано, что в связи с плотностной и солёностной стратифицированностью вод устьевых взморьев [398], их среднюю солёность нужно рассчитывать послойно, выделяя однородные по солёности объёмы воды. Для восполнения указанных пробелов, в исследовании впервые получены приемлемые для прогнозов зависимости между солёностью воды взморьев и стоком рек, а также распределение солёности воды устьевых взморьев разного типа в современный период.

Оценка баланса солей необходима для расчёта изменения солёности под влиянием различных факторов, что подробно изложено в разных источниках [105; 152; 156; 299; 300; 322]. Однако, в указанных работах, за исключением работы [105], не приводится оценка составляющих баланса солей, а основной акцент сделан на использовании балансовых методов для расчёта водообмена через Кинбурнский пролив, средней солёности лимана или её изменений [152]. Оценка баланса солей Днепровско-Бугского лимана за 1976–2012 гг. сделана впервые.

Наибольший вклад в исследование газового режима отдельных акваторий региона внесли Фащук Д.Я., Ковальчук Л.А., Берлинский Н.А., Коновалов С.К., и др. Однако предшествующие работы [94; 121; 348; 372; 373] не дают полного представления о режиме растворённых газов в устьях рек, поэтому характеристика их содержания в современный период сделана впервые. Уже на ранних этапах изучения гидрохимического режима МУР в придонном слое отдельных глубоководных районов обнаруживали сероводород, но его концентрацию определяли не всегда [64; 79; 83] и обобщающих материалов нет, поэтому анализ его распределения в устье р. Днепр сделан впервые.

Исследование содержания в воде морских устьев рек и поступления биогенных (главных элементов биогенного цикла, ГЭБЦ) и загрязняющих веществ (ЗВ) с речным стоком в море имеет важное научное и практическое значение для экологии как самих устьев, так и всего Чёрного моря [255; 405; 433]. Проблема загрязнения морских устьев рек всегда была актуальна, так как не только реки выносят загрязняющие вещества со всего бассейна, но сбросы сточных вод осуществляются непосредственно в их устья, гидрологические условия которых (наличие двухслойной циркуляции, стратифицированность вод, нагонные явления, уменьшение скоростей течения), особенности смешения морских и речных вод, а также биотических компонентов, не способствуют их самоочищению от токсических веществ [332; 333].

Однако предшествующие авторы недостаточно освещали эти вопросы, ограничиваясь сведениями о стоке некоторых веществ или их локальных концентрациях, а часть результатов просто устарела [3; 7; 8; 20; 65; 94; 105; 142; 158; 161; 181; 242; 322; 343; 372; 373; 383; 388]. Поэтому предпринята попытка восполнить этот пробел, получив статистические характеристики изучаемых ингредиентов качества воды и выяснив причины изменчивости гидрохимических характеристик в пространстве и во времени в современный период.

По материалам многолетнего мониторинга [79; 80; 82; 83] получена характеристика качества водной среды морских устьев рек Дунай, Днепр, Юж. Буг, Чёрная и Бельбек за последние 35 лет. Этот период характеризовался нестабильностью функционирования экономической системы Украины и других стран, спадом производства в последний 15–20-летний период, старением существующих систем водоотведения, бесконтрольным хозяйствованием на побережьях и в устьях рек, тотальным нарушением природоохранного законодательства.

Рассмотрены особенности изменчивости ГЭБЦ (растворимых формы азота, мкгN/л, фосфора, мкгP/л, и кремния, мкг/л) и отдельных загрязняющих веществ, определявшихся регулярно на сети стационарных и «вековых» станций, а именно: нефтяных углеводородов (НУ), фенолов, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) и хлорорганических пестицидов (ХОП). Впервые получены средние многолетние схемы распределения ГЭБЦ и ЗВ, которые являются ориентировочными, особенно для устья р. Дунай (из-за сокращения объёма наблюдений на устьевом взморье). Пропуски в наблюдениях на отдельных станциях восстанавливались с помощью корреляционных зависимостей [187; 296]. Статистические характеристики рассчитывались в соответствии с работами [21; 77; 296]. Точность расчётов и зависимостей, в соответствии с рекомендациями, приведенными в работах [4; 133; 297], была удовлетворительной.

До настоящего времени определение стока растворённых веществ в море является проблематичным [47; 287] из-за недостаточной изученности изменчивости их концентрации в сечении потока, а также вдоль устьевых участков рек и устьевых рукавов. Кроме того, все предлагаемые в литературе методы расчёта стока веществ разработаны для нормально распределённых элементов. Однако автором установлено, что распределение концентрации большинства ГЭБЦ и ЗВ не подчиняется нормальному закону распределения [123, с. 581; 431], и она по-разному изменяется в акваториях водотоков. Функция распределения концентраций ГЭБЦ и ЗВ имела выраженную асимметрию в сторону малых значений [192]. Поэтому обычные статистические методы, разработанные для нормально распределённых величин, не всегда дают достоверные результаты. К тому же, в морских устьях рек в последнее время выполнялось по 2–3 съёмки в год, а в некоторых – наблюдения были прекращены. Средняя концентрация вещества, полученная при осреднении нескольких значений за год при условии, что одно из них

на порядок больше остальных, являлась завышенной, поэтому сток веществ в этом случае также был завышен. Из-за этого средняя годовая концентрация вещества являлась приближённой, а проанализировать её внутригодовую изменчивость по нескольким значениям вообще не представлялось возможным, что ограничивало применение методик из работ [47; 192; 227; 287].

Не улучшает положения и использование метода расчёта ионного стока [171], адаптированного к стоку загрязняющих веществ Симовым В.Г. [319], так как линейная интерполяция между несколькими измерениями концентрации ЗВ, предлагаемая в [319], не обоснована анализом натурных данных. Существенная изменчивость концентрации ГЭБЦ и ЗВ, когда стандартное отклонение величин иногда в несколько раз больше средних значений, делает расчёт по методике [319] искусственным, не отражающим реальности.

Расчёт среднего многолетнего стока растворённых веществ выполнялся в соответствии с рекомендациями [47; 171] по средней концентрации веществ в створе и норме стока. Полученная традиционным методом оценка стока веществ, позволила сравнить результаты с литературными данными. Главным недостатком использования этого метода являлись: эпизодичность наблюдений и обнаружения веществ в пробах, крайняя асимметрия рядов распределения концентрации, объединение в один статистический ряд разнородных статистических совокупностей (когда загрязнение воды отмечалось, и когда этого явления не было, т.е. сток веществ был равен нулю) для расчёта средней концентрации в сечении потока и стока веществ. Поэтому точность определения стока веществ в расчётных створах низкая, 30–50 %, а с учётом недостатка данных наблюдений – ещё ниже. Кроме годового, выполнялся и погодичный расчёт стока веществ в вершины устьев рек и в море. Для повышения точности оценок стока растворённых веществ по неэквидистантным рядам наблюдений предложены новые способы его расчёта (**Глава 4**, с. 171–175).

При оценке качества воды термины и определения применялись в соответствии с ГОСТ 27065-86 [75]. В статистических расчётах величины, отклоняющиеся более чем на 3σ (σ – среднее квадратическое отклонение), не учитывались (менее 1 % данных).

Содержание в воде нефтяных углеводородов определялось экстракционно-ИК-спектрофотометрическим методом (ИКС).

Обоснование выбора расчётных створов было сделано на основе анализа изменчивости концентрации веществ по материалам наблюдений синхронных съёмок на устьевых участках и в рукавах рек Дунай и Днепр. Так как в работах [19; 194] установлено, что сток веществ в вершинах устьев в 1,5–2 раза отличался от стока, рассчитанного для устьевых рукавов, расчётные створы для определения стока больших рек назначены в устьях рукавов, малых – в

точках отбора проб воды на химический анализ. В устьевые водотоки обычно поступала хорошо перемешанная вода и распределение концентрации ЗВ по глубине было однородным (исключая случаи проникновения солёной воды у дна), поэтому средняя концентрация ЗВ в поперечном сечении каждого водотока рассчитывалась как средняя арифметическая величина. В работах [130; 202; 323; 400; 431] показано, что в водной среде устьевых рукавов рек Дунай и Днепр ГЭБЦ не только хорошо перемешаны и однородно распределены в сечениях, но их концентрации в разных рукавах соответствующих рек близки. Поэтому средняя концентрация биогенных веществ на нижних границах дельт больших рек и устьевых участков средних и малых рек определялась как средняя арифметическая из средних значений концентрации в сечениях устьевых водотоков, с погрешностью расчёта 10–30 %.

Расход воды в сроки определения концентрации принимался по данным ежегодников [78; 81; 83], с учётом времени добегания к нижним границам дельт рек Дунай и Днепр и к нижним границам устьевых участков рек Ингул, Ингулец, Чёрная и Бельбек, которое определялось в соответствии с методикой, изложенной в работе [171].

Расхождения при расчёте выноса растворённых веществ разными методами [47] и [130; 194; 196; 202; 227] составляли от 7 до минус 68 %. Оказалось, что приближённая оценка среднего многолетнего стока ГЭБЦ реками может быть получена любым из указанных методов только в 67 % случаев, когда расхождения между величинами – в пределах 10 % [47; 227]. Результаты, полученные при расчёте стока веществ по нормам стока и концентрации, обычно (в 61 % случаев) были больше, чем при расчёте выноса веществ как среднее арифметическое значение из средних годовых значений. Среднее превышение составляло 18 %. Но, так как ниже расчётных створов на реках Ингул, Ингулец, Чёрная и Бельбек существовали источники загрязнения, влияние которых не учитывалось при оценке, рассчитанный сток веществ этих рек был несколько занижен. Поэтому полученные результаты, вероятно, близки к реальным значениям.

Оценка современного баланса ГЭБЦ и ЗВ Днепровско-Бугского лимана сделана на основе авторских расчётов водообмена через Кинбурнский пролив (**Глава 3**, табл. 3.2, с. 89) и речного стока веществ. Расчёты выполнялись по методикам, изложенным в [281], а полученные по ним результаты приводятся в **Главе 4**, с. 156–157, 179–180.

В **Главе 4** рассмотрены гидрологические аспекты гидрохимии морских устьев рек, так как анализ химических, биохимических и геобиохимических преобразований элементов в водной среде МУР является предметом исследования других наук и уже выполнялся в многочисленных отечественных и зарубежных исследованиях [68; 69; 102; 105; 150; 166; 255; 279; 313; 332; 353; 355; 357; 358; 361; 388; 418; 419; 433; 434; 437].

1.1.3 Изученность устьевых явлений и процессов

Морские устья рек СЗЧМ являются географическими объектами, подверженными риску быстроразвивающихся опасных природных и антропогенных процессов [248], отдельные стадии которых фиксируются на сети наблюдений как опасные (ОЯ) и особо опасные явления (ООЯ). До сих пор это малоизученный аспект устьевой океанологии. ОЯ и ООЯ имеют интегральный характер, так как развиваются под влиянием комплекса природно-антропогенных факторов и наносят иногда существенный ущерб экономике причерноморских государств, поскольку их масштабы и повторяемость в освоенных морских устьях рек больше, чем на побережьях рек или морей [257; 374]. Последнее обстоятельство не учитывается при хозяйствовании в устьевых регионах. Поэтому научное обоснование усовершенствования законодательных актов и постановлений, направленных на решение вопросов охраны природы и защиты населения от чрезвычайных ситуаций, обусловленных природно-техногенными опасными явлениями и процессами [147; 148; 151; 248; 250; 269; 275], в устьевых регионах особенно актуально.

В середине и во второй половине прошлого века [8; 12; 24; 29; 30; 32; 54–59; 93; 95; 111; 139; 141; 144; 152; 154; 156; 166; 169; 232–235; 247; 257; 267; 268; 292–295; 298–300; 311; 316–318; 321; 322; 324–326; 328; 329; 341; 352; 354; 355; 361; 372; 373; 377; 379; 381; 382; 390; 398; 401; 404–406; 409; 410; 417; 419; 422–424; 427–430; 438], а также в современный период [22; 31; 53; 106–110; 112; 113; 146; 173; 238; 239; 245; 261; 301; 314; 320; 342; 344–346; 348; 364; 374; 375; 380; 415; 416; 421; 426] был опубликован ряд работ, рассматривающих отдельные явления и процессы в морских устьях рек. Только небольшая их часть (в основном, работы прошлого века) касалась морских устьев рек СЗЧМ.

Основное внимание авторы уделяли наводнениям, сгонно-нагонным и приливо-отливным явлениям, гипоксии на шельфе СЗЧМ, русловым процессам, а также процессам перераспределения стока в рукавах, проникновения галоклина в водотоки, водообмена через проливы, загрязнения устьев рек. Более детальные сведения о некоторых устьевых процессах в рассматриваемом регионе даны в работах Михайлова В.Н. [52; 93; 232–235], в частности, для устья р. Дунай [52]. Процессы водообмена, проникновения солёной воды в устьевые водотоки рассмотрены в работах Тимченко В.М. [342], Повалишниковой Е.С. [261], Михайловой М.В. [239], обмен массой и солями через Кинбурнский пролив – в работах Розенгурта М.Ш. [298–300], Слатинского Ю.Г. [328; 329], Жукинского В.Н., Журавлёвой Л.А. [94; 105], Симова В.Г., Морозова В.И. [320], распределения и перераспределения стока между рукавами – Гринько Е.С. [85; 86].

Анализ опасных явлений выполнялся на основе данных ГВК [78–84], метеорологических ежемесячников и обзоров, действовавших нормативных документов, положений, руководств, перечней, специальных каталогов [76; 183–185; 251; 259; 263–265; 278–286; 288; 312; 330–331], разработанных для систематизации наблюдений в морях, реках, озёрах и водохранилищах, а также литературных источников [158; 173; 257; 347; 349–351; 357; 358; 374; 376], освещающих опасные явления и процессы. И хотя они применялись в практике устьевых исследований, многие их положения и определения устарели, имели разночтения, неточности, не совсем верно классифицировали гидрометеорологические явления по степени опасности и не соответствовали сути явлений, наблюдавшихся в МУР. Поэтому был сделан критический анализ существующих перечней, каталогов, применяемых в них критериев, терминов, понятий, определений и уточнены трактовки терминов «опасные» и «особо опасные» гидрометеорологические и др. явления, предложен каталог ОЯ и ООЯ (**Глава 5**, с. 212–217), так как для МУР он не разрабатывался. В нём приводятся критерии опасности явлений и перечень возможных негативных последствий для окружающей природной среды, хозяйства и человека. При комплексном воздействии гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических факторов не всегда удавалось типизировать развившееся опасное явление. В этих случаях, с помощью их перечня (табл. 5.4) и **Словаря терминов**, ОЯ классифицировалось независимо от его генезиса и типа, по отклонению характеристик состояния природной среды морского устья от установленных критериев опасности, что принято в практике мониторинга ОЯ и ООЯ на сети Росгидромета. Для статистических оценок характеристик использовался квантильный и вероятностный анализы [41].

Термин «стихийные гидрометеорологические явления» (СГЯ) был принят в 1986 г. в официальных документах директивных и страхующих органов при оценке воздействия гидрологических условий на производственную деятельность [243; 264; 265]. Однако, понятие СГЯ, используемое в оперативных подразделениях Гидрометеослужбы Украины (а до 2002 г. и России [283]) как категория ООЯ, не совсем отражала суть вопроса. Если метеорологические явления ещё можно считать стихийными (вызванными действием природных сил, практически не подчиняющихся влиянию человека), то стихийные гидрологические явления в антропогенно-изменённых МУР подвержены воздействию хозяйственной деятельности человека, особенно при зарегулировании стока рек водохранилищами. Стихийное явление (а любое природное явление – стихийное) может не вызвать ущерба, т.е. не быть опасным для природы и человека. В 1994 г. к указанным ОЯ, ООЯ, СГЯ в специальных ведомственных документах Гидрометеослужбы Украины [265] были добавлены понятия: «резкие изменения погоды» (РЗП) и «сочетание опасных явлений» (для описания комплексных явлений). В России [76; 285; 286; 288], с 1995 г., стали применять термины: ОГЯ («опасное гидрологическое явление»),

а с 2002 г. – ОЯ («опасное гидрометеорологическое явление») и НГЯ («неблагоприятное гидрометеорологическое явление»), с 2008, 2009 гг. – ОМЯ («опасное метеорологическое явление»), ПЧС («природная чрезвычайная ситуация»), ОЯ («опасное природное явление»), КНЯ («комплекс неблагоприятных явлений») и КМЯ («комплекс метеорологических явлений»). Причём, например, в ГОСТе 22.0.03-95 [76, с. 5] ОГЯ трактовалось как результат негативного воздействия «природных или гидродинамических факторов, или их сочетаний», полагая, очевидно, что природные факторы не могут быть гидродинамическими. В литературных источниках понятия, приведенные в нормативных документах [76; 264; 265; 283; 285; 286; 288; 243] усложнялись, их спектр расширялся, вводились новые термины и их трактовки. Например, в работе [374] обсуждается связь понятий «экстремальная гидрологическая ситуация» (ЭГС) и «чрезвычайная гидрологическая ситуация» (ЧГС) и предлагается считать ЧГС частным случаем ЭГС, что, в принципе, верно. Также частным случаем ЭГС следует считать опасные (ОГЯ) и особо опасные гидрологические явления (ООГЯ), поскольку не все экстремальные ситуации бывают опасными, но все опасные явления обычно экстремальные. В этой же работе представлены основные направления классификации ЭГС, вполне применимые для МУР, хотя устья, где ЭГС наиболее часто отмечаются, вообще не рассматривались. Кроме того, к основным видам ЭГС [374, с. 5–7] отнесены изменения тепловых и гидрохимических характеристик водной среды, но они не являются сугубо гидрологическими.

В работах Магрицкого Д.В. [173; 238] даётся понятие «опасных гидрологических процессов и событий» (ОГП), их разновидности – НГП («неблагоприятные гидрологические процессы»), где эти трактовки аналогичны определениям ОГЯ и ОЯ, приведенным ранее в документе [76], и признаются автором идентичными [238, с. 235] определению «негативное воздействие вод» из Водного Кодекса РФ [44]. При этом критикуются определения ОГЯ, ОГМЯ («опасное гидрометеорологическое явление»), ЭГЯ («экстремальное гидрологическое явление») и др., взятые из разных источников, и усложняется ранее сложившийся терминологический аппарат. В [173; 238] предложена типизация ОГП по характеру их воздействия на среду и хозяйство. В то же время, в перечень опасных гидрологических процессов и событий в устьях рек включены метеорологические, геологические, геоморфологические, гидрогеологические, гидрофизические, гидрохимические процессы, которые либо являются последствиями воздействия устьевых водных объектов на контактирующие среды (или наоборот), либо не имеют прямого отношения к устьевым гидрологическим процессам. Поэтому корректней было бы говорить о взаимосвязи гидрометеорологических, гидрохимических и геоморфологических процессов и об их комплексном воздействии на устьевые природно-антропогенные системы, не относя их все к области гидрологии.

Для характеристики степени загрязнённости поверхностных вод суши в СССР [264], России [289] и Украине [265] применяли термины «высокое загрязнение» (ВЗ) и «экстремально высокое загрязнение (ЭВЗ) природной среды». Однако эти термины не являются точными и исчерпывающими, так как критериями оценки ЭВЗ предлагалось считать превышение концентрации веществ в воде над ПДК [251; 312]. В таком случае оценивалось не загрязнение среды (процесс поступления ЗВ в водные объекты [289]), а загрязнённость воды, т.е. последствия процесса загрязнения водного объекта, выразившиеся в ухудшении качества воды. Поэтому автором сделано редактирование терминов для обозначения опасных гидрохимических явлений [209]. Более точно степень загрязнённости воды может быть охарактеризована с использованием ранее предложенных критериев оценки [183; 184; 264; 265], но к результатам значительного загрязнения целесообразно относить экстремальную загрязнённость воды (ЭЗВ), подразумевая под ней последствия кратковременного воздействия антропогенных и природных факторов на водный объект.

Такое многообразие терминов, понятий и их трактовок (иногда противоречивых или неточных) затрудняло анализ опасных явлений в МУР и их систематизацию. Поэтому предложено вернуться к базовым понятиям ОЯ («опасные явления»), ООЯ («особо опасные явления») и КЯ («катастрофические явления»), характеризующим разную степень опасности или разные стадии развития негативных явлений различного генезиса для природы и человека.

Наиболее опасными и недостаточно изученными природно-антропогенными явлениями были заморы, ухудшающие экологическое состояние устьев и препятствующие сохранению и рациональному использованию биоресурсов [249]. Эти явления, в основном, изучались на шельфе СЗЧМ [29; 31; 38; 144; 343] и устьевом взморье р. Дунай (Фашук Д.Я., Берлинский Н.А., Ковальчук Л.А. и др.). Однако они имели не меньшую частоту и масштабы поражения в устье рек Днепр и Юж. Буг, о чём свидетельствует анализ этих опасных явлений, сделанный в работе автора [215]. Систематические гидробиологические исследования были прекращены в 1991 г., хотя, в то же время, ущерб от заморов исчислялся миллионами, так как ежегодно гибли ценные промысловые породы рыб, иногда и осетровые, а их добыча сократилась в 5–13 раз [19; 104; 144; 348; 373]. Поэтому опасным экологическим явлениям (ОЭЯ) уделено особое внимание (проанализировано 100 случаев замора за период 1986–2017 гг.), что сделано впервые.

Для изучения устьевых процессов использовались не только материалы изданий ГВК [78–85], но и данные специальных исследований геоморфологических (39 экспедиций), обменных (818 разрезов в Кинбурнском проливе), тепловых и ледовых процессов (80 ледокольных съёмок, 160 авиаразведок льда, 39 ледово-профильных разрезов и 4 зимних экспедиции), а также процессов проникновения галоклина в устья рек (277 съёмок), накопленные в фондах

СО ГОИН и МГИ. Теоретической базой исследования служили разноплановые разработки предшествующих авторов.

Большой вклад в изучение устьевых морфологических процессов внесли Великанов М.А., Самойлов И.В., Байдин С.С., Михайлов В.Н., Рогов М.М., Барышников Н.Б., Бутаков А.Н., Ган Г.Н., Гришанин К.В., Зенкович В.П., Иванов В.В., Коротаев В.Н., Леви И.И., Полонский В.Ф., Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Чалов Р.С., Макарова Т.А. и др., сформулировав и развив основные положения теории русловых процессов, вскрыв механизмы взаимодействия потока и русла, разработав расчётные методы оценки русловых деформаций и динамики устьевых геоморфологических элементов. Основной акцент исследовательских работ был сделан на процессы дельтообразования в разных устьях [10; 12; 22; 24–26; 52; 53; 55–59; 86; 93; 134; 154; 232; 247; 267; 292–295; 311; 352; 375; 378; 396; 438]. В фундаментальной работе [267] геоморфологические характеристики рассматривались в комплексе с гидрологическими. Если геоморфологические процессы в устье р. Дунай были в достаточной степени изучены ранее [52; 55; 93; 232–235], то в устьях рек Днепр, Юж. Буг, Бельбек и Чёрная аналогичных исследований практически не было, за исключением эпизодических наблюдений НЦГМ по программе СО ГОИНа (в период с 1979 г. по 1990 г.) за динамикой нижней границы дельты р. Днепр и Кинбурнской косы. В последнее время в МГИ РАН в какой-то мере восполняется пробел в изучении побережья устьев малых рек Крыма [225; 230]. О геоморфологическом прошлом устьев рек дают представления работы [33; 268].

В рассматриваемых морских устьях рек уже произошли геоморфологические изменения, без учёта которых инженерные мероприятия, расчёты и прогнозы при гидротехническом строительстве могут привести к негативным последствиям для природы, сооружений и человека, особенно в комплексе с возрастающей антропогенной нагрузкой и изменением климата. Например, после сооружения каскада ГЭС на р. Днепр количество наносов, выносимое рекой, значительно сократилось, уменьшилась скорость дельтообразования, дельта р. Днепр замедлила свой рост [86]. Напротив, дельта р. Дунай выдвигалась в море на несколько метров в год [52], так как регулирование стока р. Дунай не сказалось на дельтообразовании в такой степени, как на р. Днепр. Сооружение потоконаправляющей дамбы и судоходных каналов, спрямление и углубление рукавов (Румынией) и их деградация (в Украине) вызвали перераспределение стока воды и наносов между рукавами и морфометрические изменения русловой сети [52]. Регулирование водообмена между р. Дунай и озёрными комплексами в дельте реки, сооружение дамб – привели к заилению и уменьшению площади лимано-озёр [52]. Сооружение мостов, молов и причалов в Бугском лимане и Севастопольской бухте, перепланировка поймы р. Бельбек и устья р. Чёрной (создание Инкерманского лимана), способствовали изменению береговой черты, глубин, режима течений, наносов, водообмена, процессов устьеобразования,

кардинально изменив рельеф этих устьев.

В связи с тем, что исследования геоморфологических процессов в дельте р. Дунай детально изложены в работе [52], а результаты, полученные по тем же материалам ДГМО и СО ГОИН, идентичны, автором сделаны только дополнения к анализу деформаций рукавов и кос, подтверждающие достоверность выводов, приведенных в работе [52]. Впервые, по данным имевшихся наблюдений, материалов Гидрографии ВМФ им. Л.И. Митина [135–138], авиа- и спутниковым снимкам из базы МГИ, геологическим и историческим сведениям, а также по результатам экспедиционных исследований, выполненных с участием автора, проанализированы геоморфологические процессы в устье рек Днепр и Юж. Буг и эволюция устья р. Чёрной [218; 225].

Сведения о перераспределении стока в устьевых рукавах рек Дунай и Днепр необходимы для гидрологического обоснования гидротехнических, водохозяйственных мероприятий в устьях, судоходства, прогнозных оценок режима и качества воды. Из работ [52; 55; 426] известно, что последствия перераспределения стока р. Дунай уже сказались на хозяйственной деятельности не только в устьевом регионе, но и в Украине (проблемы судоходства, придельтовых лимано-озёр, ДБЗ и др.). Наблюдения за этим процессом производились только в МУР Дунай и Днепр [85; 86]. Наиболее полно вопросы перераспределения стока в устьевых рукавах рассматриваемых рек освещены в трудах Михайлова В.Н. (р. Дунай), Гринько Е.С., Симова В.Г., Костяницына М.Н. (р. Днепр) и др. [52; 85; 86; 93; 156; 232; 316; 426]. Но авторы этих работ, акцентируя внимание на антропогенном факторе, роли изменчивости стока воды и наносов в его перераспределении между рукавами, недостаточно освещали природные причины этого процесса. Специальные натурные наблюдения для изучения процессов распределения и перераспределения стока между устьевыми рукавами р. Днепр эпизодически выполнялись разными организациями с 1893 г., а с 1960 г. – НЦГМ и СО ГОИН [123; 216]. Сравнение результатов, полученных Гринько Е.С. [85], Симовым В.Г. [316] в 1965–1971 гг. и автором [216] за последние 30 лет (в условиях стабилизации работы каскада водохранилищ), с результатами расчётов Потоцкого П.Н. для периода 1893–1905 гг. [271] показало, что распределение стока р. Днепр в устьевых рукавах отличалось в пределах 2–3 %. Несколько возросла доля стока рук. Рвач и Бакай и уменьшилась доля стока рук. Конка. На основе этих результатов авторами работ [85; 316] сделаны выводы, что формирование русловой сети р. Днепр в пределах дельты, её нижней границы, происходило очень медленно, и, после сооружения днепровского каскада водохранилищ, процессы перераспределения стока р. Днепр в водотоках практически не отмечались, распределение стока между рукавами носило устойчивый характер. Однако выполненная указанными авторами оценка, как и сведения по этому вопросу, приведенные в работе Костяницына М.Н. [156], является приближённой, так как не учитывалось,

что в устьевые части рукавов (особенно рук. Рвач) часто проникала солёная вода, в придонном слое (и даже в поверхностном) иногда отмечался обратный поток. Недоучет этого и допущение постоянства коэффициентов пропорциональности стока рукавов стоку р. Днепр в большом диапазоне изменчивости расходов воды реки ($400\text{--}6500\text{ м}^3/\text{с}$ [316]) могло привести к неточностям.

Предшествующие исследования обмена через Кинбурнский пролив были ориентированы на оценку прямого (из лимана в море) и обратного (из моря в лиман) переноса воды и солей. Определение составляющих водообмена выполнялось Копайгородским Е.М. [152] и Журавлёвой Л.А. [105] на основе решения уравнений водного и солевого балансов. Слатинский Ю.Г. [328; 329], Розенгарт М.Ш. и Толмазин Д.М. [299] для определения обменных составляющих использовали данные эпизодических наблюдений за течениями в Кинбурнском проливе (с 1920 г. по 1970 г.). При этом поток считался однонаправленным в течении 8 часов, скорость однонаправленного течения принималась как средняя арифметическая в сечении потока, водообмен рассчитывался по числу случаев с течениями прямого или обратного направления, с учётом ветровой составляющей водообмена [300]. По данным работ [240; 320], течения в проливе изменяли своё направление 3–5 раз в сутки, а в соответствии с работой Тимченко В.М. [341] – 4 раза в сутки. В современный период, как показано в работах автора [207; 216, с. 464–474; 222], в проливе преобладали разнонаправленные потоки, а смена преобладающего направления переноса обычно происходила дважды в сутки. Для расчёта годовых значений водообмена через пролив Костяницын М.Н. [156] в уравнения баланса воды и солей ввёл величины изменения объёма лимана и его средней солёности от года к году. При этом пресная составляющая баланса, средняя солёность морской и лиманной воды, а также изменение солёности лимана определялись по эмпирическим зависимостям. Несмотря на усложнение расчётов, Костяницыным М.Н. [156] получены результаты, близкие к результатам Слатинского Ю.Г. [329]. Большаков В.С. использовал соотношения Праудмэна [32], а Тимченко В.М. учитывал приливо-отливную и сгонно-нагонную составляющие уровня, по которым определялось расчётное положение уровня моря в районе пролива и в зависимости от него – расход воды через пролив [341]. Значения средних годовых составляющих водообмена через Кинбурнский пролив, полученные предшествующими авторами, существенно (в 1,5–3 раза) разнились между собой (**Глава 3**, табл. 3.2, с. 89), что было обусловлено недостаточной точностью определения солёности прямого и обратного потоков (при использовании совместного решения уравнений водного и солевого балансов в работе [105]) и недостаточностью данных о режиме течений в Кинбурнском проливе (при непосредственном расчёте водообмена по расходам воды или повторяемости течений в проливе [299]). Теплообмен через пролив оценен впервые.

Накопленные данные многолетних наблюдений в Кинбурнском проливе за течениями, температурой и солёностью воды позволили детальнее исследовать процессы водо-, соле- и теплообмена через Кинбурнский пролив Днепровско-Бугского лимана. Для этого использовались материалы специальных наблюдений, полученные НЦГМ, МГС Очаков и Лабораторией устьев рек СО ГОИН [83; 123; 216]. Измерения расходов в Кинбурнском и Сакенском проливах Днепровско-Бугского лимана выполнялись, начиная с 1965 г., а в начале 90-х годов прошлого века под руководством В.Г. Симова [240; 318; 320]. Тогда же материалы были систематизированы: расходы воды, солей и тепла рассчитывались вручную, аналитическим и графическим методами, с помощью планиметрирования (в том числе и автором), и на компьютере. Более поздние, чем в работах автора [216; 222], результаты расчёта водообмена по натурным данным через Кинбурнский пролив, полученные Симовым В.Г., Морозовым В.И. и Фоминой И.Н. для среднего по водности года [320, с. 98], отличаются от средних многолетних значений, приведенных в данной работе (Глава 3, с. 89) и в работе автора [222], в пределах точности их определения. Сравнение средних многолетних значений водо-, соле- и теплообмена через Кинбурнский пролив сделать невозможно, так как эти величины авторы работы [320] не приводят. Метод расчёта краткосрочных значений водообмена через Кинбурнский пролив, предложенный в [320], вызывает сомнение, так как в работе нет сведений о совпадении рассчитанных значений с измеренными. В ней сначала утверждается, что «связь между кратковременным изменением уровня лимана и стоком рек практически отсутствует» [320, с. 77], ниже написано, что имеется «качественная связь между среднесуточными значениями стока р. Днепр и уровнем лимана» [320, с. 77]. Связь эта не показана и не оценена, хотя в расчётные формулы зависимости ежечасного водообмена от интенсивности изменения уровня воды вводится среднесуточный расход воды р. Днепр. Далее [320, с. 84] говорится, что результаты не согласуются с изменениями речного стока из-за «отсутствия связи его кратковременных изменений с изменениями уровня воды в лимане». Кроме того, из 679 измеренных расходов воды (с. 39), авторы работы [320], якобы, использовали для анализа водообмена только 37 % ранее критически проверенного материала (259 расходов воды), отбросив 2/3 массива данных [320, прил. 2, с. 146–153], но расчётные зависимости, положенные в основу методики [320, с. 83], построены по 22 (рис. 4.3) и 17 (рис. 4.4) расходам воды, т.е. статистически не обоснованы и, при этом, имеют высокие коэффициенты корреляции. Утверждение авторов [320, с. 75] о синхронности колебаний уровня в вершинах Бугского (г. Николаев) и Днепровского (с. Касперовка) лиманов, на основании которого они ввели в расчётную формулу водообмена «среднюю часовую скорость изменения уровня воды» в этих пунктах, не подтверждается при анализе лент СУМ: с 6 до 14 ч колебания уровня в вершинах лиманов происходят в противофазе,

а в остальное время – изменение уровня в с. Касперовка отмечается на 3 ч раньше, чем в г. Николаеве, о чём свидетельствует рис. 3.4 (Глава 3, с. 83), анализ водообмена через пролив (Глава 6, рис. 6.15, с. 243) и даже рис. 4.1 авторов [320, с. 76].

В работах [123; 189; 190; 197; 216; 220; 222] рассматривался адвективный перенос воды, тепла и веществ в сечении Кинбурнского пролива, апробировались методики [9; 62; 189; 197] и выполнялся расчёт обмена через проливы по программам, разработанным Демидовым А.Н. по алгоритму автора [189; 220]. Для вычисления 818-ти ИРВ (и 1332-х расходов солей и тепла) поперечное сечение Кинбурнского пролива разбивалось по ширине (около 4 км) вертикалями через 45 м (93 вертикали) и горизонталями с шагом 1 м (от 0 на урезах до 22 горизонтов на глубоководной станции 11г). Измерения направления и скорости течений, температуры и солёности выполнялись на 6 вертикалях, на стандартных горизонтах (поверхность, 3, 5, 10, 15, 20 м и у дна). Направления течений проектировались на ось 315° – 135° (по нормали к сечению пролива). Эпюры скорости, температуры и солёности строились с помощью сплайн-интерполяции, значения снимались через 1 м. Интерполяция между вертикалями, на которых производились измерения параметров, выполнялась в узлы сетки, а в краевых точках – с учётом значений в трёх ближайших узлах. Вычислялись элементарные расходы воды (как произведение скорости течения и площади ячейки), а также солей и тепла (как произведение скорости течения, солёности или температуры воды и площади ячейки). Расходы прямого (с плюсом) и обратного (с минусом) направлений получались путём суммирования элементарных расходов воды, солей и тепла в пределах соответствующих частей площади поперечного сечения пролива, разграниченных нулевой изотаксой. Результирующий перенос определялся как алгебраическая сумма прямого и обратного потоков.

До настоящего времени разработка теоретических и практических методов определения параметров зоны взаимодействия («смешения», «распреснения», «трансформации», «фильтра», «барьера») вызывает затруднения [32; 69; 99; 106; 107; 109; 110; 116–120; 131; 166; 233; 238; 354; 379; 381; 390; 395; 406; 407; 410; 416; 417].

Различные авторы по-разному подходили к решению этого вопроса. В работах [8; 322; 361] показано, что наиболее значительные изменения ионного состава происходили в интервале солёности 1–2 ‰, а зона смешения располагалась в границах 1–10 ‰ [361]. В работе [32] выделено 4 этапа трансформации речных вод в морские, а в работах [116; 131; 238] обосновывалось наличие 3 зон трансформации (3–10 ‰, 10–14 ‰ и 14–17 ‰). Но в указанных работах анализ был ограничен отдельными съёмками [8; 32; 116; 322], сезонными характеристиками [125; 131] или моделированием процессов распространения распреснённых вод [117–120]. Фундаментальная работа Гордеева В.В. [69] посвящена малоизученным седиментационным и биогеохимическим процессам в системе река–море, как и работа [166] Лисицына А.П., в кото-

рой «маргинальный фильтр» делится на 3 зоны. Динамика распреснённых вод на устьевых взморьях рассмотрена в работах Завьялова П.О., Журбас Н.В., Зацепина А.Г. [106–110], где показано влияние различных факторов на трансформацию и перемещение речных «плюмов». Установлено, что многолетняя и сезонная изменчивость стока рек способствовала формированию «устьевой зоны смешения» [233]. В качестве индикатора для определения морских границ устьев или «плюмов», степени влияния стока рек на устьевые взморья и их районирования обычно использовалась солёность [32; 69; 100; 106–110; 125; 131; 166; 233; 235]. Хотя методы районирования, предложенные в литературе, были разными – они оказались неэффективными для условий МУР СЗЧМ и, учитывая отсутствие единого мнения, автором предложено выделять и районировать климатическую зону взаимодействия разнородных вод по изменчивости солёности воды, выраженной коэффициентом вариации C_v [219; 224].

В качестве информационной базы использовались материалы многолетних (1976–2012 гг.) наблюдений в МУР СЗЧМ, представленные в изданиях ГВК [83; 84], где изложены стандартные методы отбора и анализа проб воды на солёность. В устьевых водотоках определение солёности воды имело низкую точность, в основном там определялась минерализация и хлорность, которые затем пересчитывались в солёность по региональным формулам [123, с. 377–382]. Отбор проб на солёность осуществлялся на стандартных горизонтах (поверхность, 3, 5, 10, 15, 20 м, дно и в слое скачка) во все сезоны года, при отсутствии ледовых явлений – ежемесячно, у берега – ежедневно. Всего в работе использовалось 175 тыс. проб, отобранных в открытых частях устьев (включая устьевые водотоки, куда проникала солёная вода), прилегающих частях моря и 311 тыс. проб, отобранных у берегов. Ряды наблюдений были однородными, значимых тенденций не обнаружено. Для обобщения применялись методы математической статистики [77; 296], использовались все данные наблюдений за солёностью воды, так как срочные значения не отклонялись от средних величин более чем на утроенное среднее квадратическое отклонение.

Существенный вклад в изучение проникновения морских вод в приливные устья рек внесли Лупачёв Ю.В., Макарова Т.А., Скриптунов Н.А. [169; 326]. Недостаток специальных натурных исследований интрузии солёной воды в устья способствовал развитию математического моделирования [99; 100; 111–113; 162; 176; 239; 416; 421]. Усовершенствованию гидродинамической теории этого недостаточно изученного процесса и исследованию возникающих при интрузии солёной воды в приливные устья рек внутренних волн посвящены работы Лупачёва Ю.В. [169], Зырянова В.Н., Чебановой М.К. [111–113] и др. Лаврентьевым Ю.А. [162] и Маргвелашвили Н.Ю. [176] успешно выполнено математическое моделирование проникновения галоклина в неприливные устья рек Дунай, Днепр и Юж. Буг. Из литературных источников [232–235; 238; 239; 261; 325; 326] известно, что решающими факторами проникновения

галоклина в устьевые водотоки являлся тип морфологического сопряжения УУР или устьевых рукавов с приёмным водоёмом, строение бара, речной сток, ветер и солёность (плотность) воды устьевого взморья. Особенности строения МУР влияли на гидравлическое сопряжение смежных водных объектов (водотоков и водоёмов) и тем самым определяли механизм проникновения галоклина, что показано в работах Лупачёва Ю.В., Скриптунова Н.А., Михайловой М.В., Повалишниковой Е.С. [169; 239; 261; 326]. В ЛУР СО ГОИН, под руководством Симова В.Г., были организованы и проводились (совместно с НЦГМ и ДГМО) специальные исследования этого процесса в устьях рек Днепр, Юж. Буг (1977–1996 гг.) и р. Дунай (1976–1993 гг.).

В монографии обобщались материалы первичных экспедиционных наблюдений СО ГОИН и НЦГМ в устьях рек Днепр и Юж. Буг как специальных, по исследованию динамики галоклина в отдельных устьевых рукавах (46 съёмки), так и стандартных (162 съёмки) за 1961–2012 гг., а также специальных наблюдений ДГМО в устье р. Дунай (69 съёмки). В устье р. Чёрной использованы материалы натурных данных, полученных МГИ РАН в период 2007–2018 гг. (27 съёмки). Поскольку имеющиеся немногочисленные наблюдения за проникновением галоклина в рукава р. Дунай были обобщены в работе коллектива авторов ДГМО и МГУ им. Ломоносова В.М. в 2004 г. [52], а также в статьях [239; 261], сделаны лишь некоторые уточнения к анализу процесса интрузии в устье р. Дунай. В качестве характеристики проникновения солёной воды в устьевые водотоки использовалась «длина галоклина», ограниченного изогалиной 1‰ в придонном слое воды, отсчитываемая от нижних границ дельт или устьевых участков рек [52; 169].

Тепловые и ледовые процессы в морских устьях рек исследовались для севера Европейской территории России, где лёд являлся существенным препятствием для судоходства. Основное внимание уделялось ледовому режиму устьевых водотоков (Агафонова С.А., Фролова Н.Л., Алексеевский Н.И.) и приливных эстуариев (Третьяков М.В., Войнов Г.Н. и др.). Тепловое влияние стока рек на устьевые взморья рассматривалось в работах Славина Л.Б., Лупачёва Ю.В., Скриптунова Н.А. Устья рек СЗЧМ практически оставались малоизученными, так как ледовые явления в них редко препятствовали хозяйственной деятельности. Однако в суровые зимы ледовая обстановка в устье рек Дунай, Днепр и Юж. Буг была неблагоприятной для судоходства, иногда суда были зажаты во льдах, а для разрушения заторов производились взрывные работы. Прогнозирование ледовых явлений в условиях неустойчивого ледового режима рассматриваемых морских устьев рек до сих пор остаётся проблематичным. Поэтому для устьев рек Северо-Западного климатического района (Глава 2, с. 71, 72) выполнен анализ данных наблюдений за ледовыми явлениями и обуславливающими их факторами в ледовые сезоны 1960/61–2011/2012 гг., дополнивший ранее полученные автором результаты, обобщённые в монографии [190].

Гидрохимические процессы исследовались на основе данных ГВК [79; 80; 82–84], а также материалов государственной статистической отчётности об использовании воды (Минводхоза Украины), данных Главного управления природных ресурсов и экологии в г. Севастополе [253] и др. организаций [103; 104]. Расчёт индекса загрязнения (а по сути – загрязнённости) воды (*ИЗВ*) выполнялся по единой для всех устьев методике, изложенной в [83; 185]. Полученное автором районирование устьевых акваторий по указанному индексу согласовывалось с распределением загрязняющих веществ (**Глава 4**, с. 160–168), результатами биогеохимического районирования, выполненного для воды и донных отложений в МГИ и ИМБИ РАН [17–19; 121], а также работами Гордеева В.В. [69] и Лисицына А.П. [166] по геохимии системы «река–море».

Так как рассмотренные предшествующие работы базировались, в основном, на небольшом эмпирическом материале и не освещали всего комплекса явлений и процессов, на основе современного массива данных и анализа изменчивости состояния МУР (**Главы 3, 4**), предложены способы расчётов и выполнены количественные оценки некоторых характеристик устьевых явлений и процессов, расширен их перечень. Основной акцент сделан на опасных явлениях и процессах природного, антропогенного и комплексного генезиса, в наибольшей степени влияющих на среду морских устьев рек и природопользование в устьевых регионах.

1.1.4 Исследование проблем природопользования

Морские устья рек – наиболее экологически уязвимые географические объекты, в которых интегрируются загрязняющие вещества с речных бассейнов и происходит их аккумуляция на взморьях [123, с. 555–558, 574; 216, с. 389–414], поэтому они являются одним из основных источников загрязнения Чёрного моря (рис. 4.40, с. 259). Активная хозяйственная деятельность в устьевых регионах изменила их облик, увеличила степень риска деградации устьевых экосистем, который из потенциального уже стал реальным [353; 433; 434]. Экологическая небезопасность международных рек и их устьев и нерациональное природопользование являются негативными факторами для осуществления морской деятельности Российской Федерации в Чёрном море и реках его бассейна, включающей мореплавание, проведение комплексных научных исследований и др. [151; 241]. Поскольку РФ является членом Дунайской комиссии, её интересам (несмотря на потерю Дунайского побережья и инфраструктуры на р. Дунай) отвечает сохранение транспортного коридора Азовское море–Чёрное море–Дунай–Европа по наиболее экономически выгодному и экологически безопасному (по сравнению с другими вариантами) судовому ходу в рук. Быстрый. Решение проблем природопользования в международных устьях больших рек (Дунай и Днепр) особенно актуально на фоне глобальных

климатических изменений [353] и непростых экономических и политических отношений между причерноморскими государствами. Проблемы использования водных ресурсов Севастопольского региона обострились в связи с активизацией хозяйственной деятельности и ростом населения, наметившимся с 2014 года. Основной экологической и социально-экономической проблемой в устьевых регионах, как правильно указано в работах Фащука Д.Я. [353 и др.], является конфликтогенность природопользования, обусловленная повышенной активностью и конкурентностью морской хозяйственной деятельности, а также отсутствием межведомственного регулирования.

Вопросов природопользования в устьевых регионах касались многие авторы, в основном рассматривая отдельные аспекты локального влияния хозяйственной деятельности, предлагая различные проекты и мероприятия по рациональному использованию водных ресурсов. Костянициным Н.М., Розенгуртом М.Ш., Тимченко В.М., Берлинским Н.А., Михайловым В.Н. с соавторами и др. [30; 31; 52; 156; 165; 300; 341; 426] разработан ряд предложений по оптимизации хозяйственной деятельности в устьях больших рек СЗЧМ и аналогичных объектах.

Прикладное направление работ получило наибольшее развитие для устья р. Дунай, так как возникла необходимость возобновления судоходства в его украинской части [52]. В этой фундаментальной монографии рассмотрены гидрологические аспекты водохозяйственных проблем, показаны причины негативных изменений в Килийской части дельты, связанные с перераспределением стока р. Дунай в результате гидротехнических мероприятий, дано гидрологическое обоснование сооружения судового хода в рук. Быстром. Однако единства мнений, по эффективности предлагаемых авторами работы [52] мероприятий, нет. Ряд учёных, экологов, в том числе и зарубежных, считает намеченные пути решения проблем природопользования неприемлемыми, так как они, якобы, нарушат режим заповедывания Дунайского биосферного заповедника (ДБЗ), могут нанести урон хозяйствующим субъектам сопредельных государств и ухудшат экологические условия региона [396; 426]. В работах Жмуд М.Е., Волошкевича А.Н. и др. сотрудников Дунайского биосферного заповедника акцентируются вопросы охраны природы в устье р. Дунай и необоснованно преувеличивается возможный ущерб от эксплуатации судового хода в рук. Быстром, при игнорировании негативного влияния на заповедник румынских судоходных каналов и загрязнения р. Дунай европейскими странами. Эколого-экономические проблемы использования дунайских плавней наиболее полно освещены в работах Рубеля О.Е. [301], в которых водно-болотные угодья обоснованно рассматриваются как единая природно-антропогенная система. В этой же работе предлагается отказаться от переброски стока р. Дунай в водохранилище Сасык и оросительных систем, использовать канал рук. Соломонов–Сасык в качестве судового хода и, соединив его с морем,

построить новый порт на косе, отделяющей Сасык от моря, что спорно и недостаточно обосновано.

Анализ проблем природопользования в устье рек Днепр и Юж. Буг сводился к разработке проекта перекрытия Днепровско-Бугского лимана, переброске части стока р. Дунай [101; 300], констатации негативных явлений (обзор таких работ представлен в [216, с. 58–69]) и расчётам заиливания Днепро-Бугского судоходного канала [156]). Основным негативным фактором, снизившим ресурсный потенциал этого устья и СЗЧМ, рядом авторов считалось регулирование стока реки каскадом днепровских водохранилищ [353], эксплуатацию которого Шапарь А.Г. и др. [364] полагают главной причиной экологической катастрофы на шельфе Чёрного моря. Однако эти выводы недостаточно объективны, так как исследование выноса ГЭБЦ в море [204] показало, что их сток р. Дунай в 7 раз больше суммарного стока рек Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец в Днепровско-Бугский лиман (**Глава 4**, табл. 4.6) и выноса ГЭБЦ через Кинбурнский пролив в прилегающую часть моря (табл. 3.7). Не подтверждаются и выводы авторов об уменьшении среднего годового расхода воды р. Днепр [364] или его увеличении [266], осолонении Днепровско-Бугского лимана и увеличении выноса ГЭБЦ из-за сооружения каскада водохранилищ на р. Днепр, так как значимых тенденций этих характеристик не обнаружено (**Глава 3**, с. 77, **Глава 4**, с. 120).

Данные мониторинга качества воды Севастопольской бухты, а также упоминание некоторых проблем природопользования содержатся в работах [17; 122; 126; 160; 164; 253; 274]. Оценка антропогенной нагрузки на устья рек Чёрная и Бельбек приведена в работах [18; 123; 201; 203; 205; 206; 214; 226; 230] автора (с соавторами), а в работах [124; 126; 127; 198–200; 210; 221; 276; 339], в рамках «Комплексной программы охраны окружающей природной среды, рационального использования природных ресурсов и экологической безопасности г. Севастополя на период до 2010 г.», обосновывались предложения по рациональному использованию водных ресурсов малых рек Севастопольского региона.

Большинство предложений по использованию водных ресурсов МУР СЗЧМ было связано с разработкой конкретных, локальных проектов каналов, дамб, водовыпусков и других гидротехнических сооружений, и они были сформулированы в материалах ОВОС, научно-технических отчётах, рабочих проектах специализированных проектных и изыскательских организаций, программах освоения природных ресурсов [19; 46; 198; 199; 259; 272; 337; 339; 360; 363]. Но эти предложения так и остались нереализованными или недоработанными. Освещение отдельных проблем природопользования в различных частях морских устьев рек [19; 52], отсутствие координации научных исследований и практических изысканий, комплексного подхода к исследованию состояния устьев и регионального природопользования в целом — препятствовали выявлению всего спектра этих проблем, систематизации их, выделению при-

оритетных задач и поиску их наиболее оптимального решения.

Поэтому выполнен критический анализ предлагавшихся различными организациями мероприятий, разработаны дополнения и новые предложения по усовершенствованию природопользования в устьевых регионах. Базой для этого послужили ранее сделанные работы: комплексный анализ режима и качества природной среды (Главы 3, 4), устьевых явлений и процессов (Главы 5, 6), их тенденций [19; 123; 124; 208; 214–216], воздействия хозяйственной деятельности на природные условия устьев рек Дунай, Днепр, Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Березань, Сосик, Бельбек и Чёрная [52; 123; 200]; результаты балансовых расчётов автора [124; 210; 216, с. 162, 188, 226, 293, 436; 220] и математического моделирования, выполненного в соавторстве с Прусовым В.А. [124; 126; 276] для решения практических задач.

1.2 Стратегия междисциплинарных исследований и пути её реализации

Комплексность в исследовании морских устьев рек предполагает в качестве основного инструментария их изучения системный подход, охватывающий группу взаимосвязанных характеристик режима и качества воды, явлений и процессов. Необходимость системного подхода обусловлена тем, что фрагментарная изученность МУР, отмеченная выше, не только не даёт целостного представления об этих географических объектах, но и лишает учёных возможности обоснованно выделить их в отдельные географические единицы.

В то же время, для повышения эффективности устьевых исследований необходим синтез знаний смежных дисциплин: гидрологии, океанологии, гидрофизики, гидрохимии, геоморфологии, экологии, природопользования.

Поэтому данное комплексное исследование разнотипных устьев рек одновременно является и системным, и межотраслевым.

Основные этапы комплексных исследований морских устьев рек следующие:

- типизация и районирование устьев рек, определение границ типовых устьев рек;
- выявление закономерностей изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик, их взаимосвязей и зависимостей от обуславливающих факторов для типовых устьев рек в современный климатический период;
- систематизация опасных (ОЯ) и особо опасных (ООЯ) явлений в МУР, установление их причин и взаимосвязей, получение количественных оценок основных характеристик явлений, представляющих наибольшую угрозу населению и экономике;
- анализ устьевых процессов и основных закономерностей изменчивости их режимоформирующих характеристик, влияющих на условия природопользования;

– характеристика современных проблем природопользования на основе анализа его спецификации в устьевых регионах и обоснование путей их решения.

Для решения этих задач предлагается стратегия междисциплинарных исследований морских устьев рек на основе анализа современного состояния разнотипных устьев и закономерностей его изменчивости (рис. 1.5).

Апробация предлагаемой стратегии для разнотипных МУР северо-западной части Чёрного моря, представленная в данной работе, показала её эффективность. В результате не только дана современная комплексная оценка состояния устьев, выполнена их типизация и районирование, получены новые знания об устьевых процессах и явлениях, но также усовершенствована научная терминология, и нашли практическое применение предложения по усовершенствованию природопользования в устьевых регионах малых рек Крыма. Например, правительством г. Севастополя рассмотрен и одобрен проект сооружения резервного водохранилища в нижнем течении р. Бельбек, в естественно-затапливаемой Камышловской балке, предложенный МГИ РАН.

Рисунок 1.5. – Стратегия междисциплинарных исследований морских устьев рек

Главным недостатком в реализации рассмотренной стратегии являются:

- межведомственная нескоординированность работ;
- отсутствие оптимизированной системы мониторинга МУР;
- отсутствие структуры, способной осуществлять функции по научному обеспечению практических задач природопользования.

Поскольку морское устье реки, как комплексный географический объект, представляет собой единую природно-хозяйственную систему, управление которой возможно на основе системного подхода, важным фактором её устойчивого функционирования является структура, способная осуществлять эффективный менеджмент по использованию устьевых ресурсов, контролю природопользования, перспективному планированию, восстановлению и сохранению природы устьевых регионов.

Динамика состояния ряда морских устьев рек Причерноморья свидетельствует о том, что, несмотря на экономический спад и убыль населения после 1991 г., экологический кризис продолжал развиваться, проблемы природопользования накапливались и не решались. Этому способствовали: технологическая отсталость промышленного и сельскохозяйственного производств, отсутствие финансирования природоохранных мероприятий, нескоординированность мониторинговых работ, осуществлявшихся разными ведомствами и учреждениями, иногда дублировавшими друг друга, рост количества и масштабов техногенных аварий из-за износа оборудования, неправильной эксплуатации, стихийных явлений, низкая эффективность очистных сооружений или их отсутствие, хаотическая застройка побережий, пойм, слабый уровень экологического образования населения, несовершенство законодательства и контроля его выполнения.

Решить эти проблемы возможно путём кооперации и координации мониторинговых работ, планирования и контроля хозяйственной деятельности на базе региональных центров природопользования и мониторинга (РЦПМ), структура и функции которых представлены на рис. 1.6. В них, на основе кооперации и координации действующих местных управлений и органи-

Рисунок 1.6 – Функции региональных центров природопользования и мониторинга

заций экологического и природоохранного профиля, чрезвычайных ситуаций, геологии, лесного, сельского, водного, рыбного и коммунального хозяйств, земельных ресурсов, СЭС, гидрометеослужбы, научных институтов и др., на базе единого нормативного, организационного, методологического и метрологического обеспечения, объединения составных частей и унификации компонент с использованием автоматизированной информационной системы, ведомственных геоинформационных баз, будет формироваться методология и осуществляться практика сохранения и рационального использования природных ресурсов. Эти региональные межведомственные органы смогут разрабатывать схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов [44; 45], контролировать состояние экосистем, норм экологической безопасности, оперативно реагировать на возникающие кризисные ситуации, ликвидировать их последствия, оказывать информационную поддержку принятия управленческих решений и др. [89–91; 200]. Научно-организационной основой деятельности РЦПМ и будет предложенная стратегия междисциплинарных исследований (рис. 1.5).

Важной частью деятельности РЦПМ может явиться разработка предложений по усовершенствованию законодательной базы причерноморских государств, вынесению в натуру границ водоохранных и прибрежных полос, так как практика природопользования в устьевых регионах показала, что их внешние границы целесообразно удалять на большее расстояние от уреза воды, чем это предусмотрено законодательством для рек. Например, в [45] «внешние границы водоохранных зон определяются по специально разработанным проектам», внешние границы прибрежных полос устанавливаются на расстоянии 25 (для малых рек)–100 м (для больших рек), а в [44] – внешние границы водоохранных зон устанавливаются на расстоянии 50 (для малых рек)–200 м (для больших рек), прибрежных полос – на расстоянии 30–50 м (в зависимости от уклона берега). Не исключено, что эти границы должны отсчитываться от уреза воды в устьевом водном объекте при среднем многолетнем максимальном уровне воды (особенно, для рек с паводочным режимом, в зонах затопления, подпора, заторов и влияния сгонно-нагонных явлений), а не от среднего многолетнего уреза воды в меженный период как в [44; 45]. В водоохранные зоны обязательно должны быть включены: пойма, бровки и крутые склоны берегов, местные балки и овраги [44; 45]. Ширина прибрежных полос также должна быть больше, чем в реках, потому что устья – места нереста и нагула рыб. Установленная для побережий морей, лиманов, заливов и бухт внешняя граница прибрежной защитной полосы – не менее 500 м [44] и не менее 2000 м [45], в настоящее время повсеместно не соблюдается. В морских устьях рек сооружения и строения подвергаются большей угрозе затопления и разрушения, поэтому их размещение в естественно-затапливаемых поймах и на побережьях взморьев вблизи уреза, на абрадируемых берегах, нецелесообразно и должно быть лимитировано действующими законами причерноморских государств [44; 45; 248–250; 275].

Несмотря на то, что морские устья рек являются отдельными географическими объектами, с наиболее дорогостоящими природными ресурсами, подверженными влиянию реки, моря, суши и атмосферы, а также хозяйственной деятельности, в законодательные базы причерноморских государств [44; 45; 250; 275] они не внесены как объекты водных отношений. Это одна из причин строительства на естественно-затапливаемых территориях устьев (которое должно быть запрещено), неограниченной хозяйственной деятельности в водоохранных и прибрежных зонах (которая должна быть строго регламентирована), нерациональных затрат на мероприятия по предотвращению затопления, подтопления и загрязнения окружающей природной среды, в том числе и Чёрного моря.

Таким образом, тенденции и проблемы природопользования, обусловленные расположением устьевых регионов в зоне экологической опасности, многокомпонентной структурой морских устьев рек, их состоянием, притоком сельского населения в города, оживлением непроизводственной сферы деятельности, загрязнением среды – требуют эффективных мер по сохранению природы этих уникальных водных объектов в условиях возможного в будущем повышения экономического потенциала и изменения климатических условий.

ГЛАВА 2 РАЙОНИРОВАНИЕ И ТИПИЗАЦИЯ МОРСКИХ УСТЬЕВ РЕК

2.1 Принципы типизации и районирования морских устьев рек

До сих пор способы районирования и типизации устьев, а также терминология по устьевой тематике вызывают дискуссии в отечественном и зарубежном научном сообществе [49; 72; 96; 102; 123; 129; 155; 159; 165; 209; 211; 232–238; 245; 255; 267; 280; 303; 304; 311; 313; 325; 341; 355; 368; 370–373; 375; 378; 380; 382; 384; 385; 389; 391; 392; 394; 397; 405; 409; 417; 418; 420–425; 427; 429]. Отсутствие универсальности и единообразия трактовок основных терминов и определений затрудняет их понимание, а иногда снижает качество и эффективность научных и практических разработок. Существующее разнообразие, усложнённость, а, зачастую, и противоречивость типизаций устьевых областей рек (морских устьев рек – МУР) ограничивает их применимость. Причиной этого является неоднозначный подход к районированию устьев, поскольку нет единства мнений, какой критерий считать основным [96; 209; 232–238; 311; 313]: геоморфологическое строение устья или устьевые процессы (которые не всегда ограничены одним геоморфологическим компонентом МУР). Массовое заимствование принятых в иностранной литературе формулировок не только не разрешило эту проблему, но и привело к разрыву преемственности с предшествующими отечественными разработками, более глубокими, чем зарубежные, эклектике, путанице и затормозило развитие научной терминологии [233; 237; 238] для целей её стандартизации, так как разработанные ранее ГОСТы [71–74] устарели.

Попытки выделить устьевую область реки (УОР) в отдельную таксономическую географическую единицу предпринимались с первой половины XX века. Окончательно, понятие «устьевая область реки» было сформулировано Самойловым Н.В. (1952 г.) в монографии [311], где устье реки рассматривалось как комплексный географический объект, состоящий из нижней части реки, включая её долину, взморья, с прилегающим к нему побережьем, на которых проявляются устьевые процессы. Там же, впервые, устьевая область реки была районирована, и основные принципы этого районирования сохраняются до сих пор. Они заключались в выделении районов «по степени преобладания в них либо речного, либо морского режима» и представлении УОР «переходной зоной между рекой и морем». Последнее определение было доведено до абсурда в [280], где УОР – «переходная зона, на протяжении которой гидрологический режим, свойственный реке постепенно приобретает свойства морского залива» (*орфография сохранена* – прим. авт.). Здесь отнесение устья к «переходной зоне» противоречит концепции УОР как отдельного географического объекта, и непонятно, как «гидрологический режим» (характеристика среднего состояния) становится «морским заливом» (водным объектом). В УОР Самойлов Н.В. [311] включал «предустьевой участок реки», «устьевой участок реки» и «предустьевое взморье». Устье

реки, таким образом, было разделено на 2 части [311, с. 35]: «приморский участок реки» (его границами являлись нижний створ реки, на котором затухали подпорные явления, «морской край дельты» или часть эстуария) и «предустьевое взморье» (в границах между морским краем дельты, устьем эстуария или свалом глубин). К устьевому участку реки автор ошибочно относил дельту или часть эстуария, хотя эти структурные компоненты устья не являются частью реки, не имеют речных форм рельефа и отличаются не только геоморфологией, но и гидрологическим, гидрофизическим и гидрохимическим режимами от режима устьевого участка реки. При данном способе районирования устьевое взморье не выделялось как составная часть УОР, а предлагалось ограничивать «устье реки» свалом глубин или устьем эстуария, а за ним выделять (неизвестно, как и в каких границах) «зону значительного опреснения в половодье», т.е. «предустьевое пространство моря». В некоторых морях опреснение (и не только в половодье) охватывает значительную часть моря или море целиком (например, Азовское). Судя по названиям [311] составных частей УОР («предустьевой» участок реки и «предустьевое взморье») «устьевой частью» являлся только «устьевой участок реки», а остальные части отнесены к «предустьевым», хотя все они включены в УОР [311, с. 35, рис. 3]. Не соответствовало реальности и название «морской край дельты» (МКД), так как в некоторых устьях рек граница между дельтой и устьевым взморьем располагалась в сотнях километрах от моря, потому что дельты не всегда образуются непосредственно в море, часто они формируются в лимане, заливе и других водных объектах, верхняя граница которых располагается далеко от моря. Тем не менее, указанные в работе [311] принципы районирования УОР, когда она рассматривалась как «переходная зона» со специфическими устьевыми процессами, а не как комплексный географический объект, использованы при составлении ГОСТ 18457-73, который с 1973 г. до сих пор не обновлялся [72]. В нём «устьевая область реки – переходная зона от реки к морю, для которой характерно взаимодействие и смешение вод реки и моря и дельтообразование». Но, по сути, «смешение» – это один из видов «взаимодействия» разнородных вод. В устье происходит не только смешение речных и морских вод, но и озёрных, болотных, плавневых, лиманных. Устьевые процессы не ограничиваются смешением вод и дельтообразованием, их больше, чем перечислено в старом определении [72], например, перераспределение стока воды между устьевыми рукавами, проникновение солёной воды в пресноводную часть устья, обменные и др. процессы, а дельтообразования может и не происходить. Устье реки является не только «устьевой областью реки, впадающей в море» [72], но и краевой областью моря (океана), в которую впадает река [325], потому что формируется под совместным влиянием этих двух объектов (а также суши, атмосферы и хозяйственной деятельности) и представляет собой не «область реки», или «переходную зону», а специфический географический объект – морское устье реки. Иногда «морская часть устья реки» больше «речной части» (чаще всего так и бывает – устьевое взморье по площади обычно больше устьевого участка реки). К тому же, употребление

термина «устьевая область реки» может привести к тавтологии при её физико-географическом описании, поскольку каждая УОР расположена в определённой административно-территориальной области. Например, «устьевая область рек Днепр и Южный Буг расположена в Николаевской и Херсонской областях». Поэтому географический объект, включающий как устьевую часть реки, так и часть моря (океана), в которое эта река впадает, более правильно называть «морское устье реки» (МУР), в соответствии с терминологией, представленной в [303] и широко используемой в практике.

Благодаря работам [232–238; 267] в научную литературу прочно вошло понятие «устьевой области реки» как «особого географического объекта», формирующегося под воздействием устьевых процессов, что, безусловно, обоснованно (исключая название «особый», так как все географические объекты имеют свою специфику). Представление УОР «единой природной системой», состоящей из характерных морфологических элементов, с присущими им особенностями гидролого-морфологических процессов [267], было шагом вперёд в понимании их структуры. Но и в работе [267] устье рассматривалось как двухкомпонентный объект, от речной до морской границы включительно, состоящий из устьевого участка реки и устьевого взморья [267, с. 13–14], т.е. схема районирования осталась прежней [311]. В отличие от [311], нижняя граница устьевого участка реки совпадала не только с МКД, но и с устьевым створом эстуария (УСЭ, рис. 1.2, стр. 14 в [267]), хотя эстуарий не является «устьевым участком реки» [3; 49; 71; 72; 134; 157; 303; 308; 313; 375; 390; 401; 409 и др.]. Согласно ГОСТ 18457-73 [72], это «часть устьевого взморья», а устьевой участок реки (УУР) – водоток [71], поэтому объединять их в один структурный компонент УОР нецелесообразно. Предложенное в монографии [267] районирование в дальнейшем применялось во многих работах различных авторов. В них в УУР включали дельту, но эстуарий относили к устьевому взморью полузакрытого типа [235; 320] либо исключали из их состава, полагая дельту и эстуарий отдельными компонентами устья [236–238]. При этом всё многообразие «полузакрытых устьевых взморьев» было сведено к эстуарию [233–237; 320], что не учитывало существенных отличий между эстуарием, заливом, лагуной, лиманом, бухтой и другими типами устьевых взморьев или их частей [72; 325; 308; 370; 371]. Например, в работе [320, с. 8–9] устья рек Юж. Буг и Чёрная отнесены к эстуариям, но отсутствие блокирующих кос, по мнению авторов, «не позволяет классифицировать эти устья как проливы». Относить устья рек к проливам некорректно. Термин «полузакрытое устьевое взморье», введённый в указанных работах, неточно отражает специфику этой части УОР и означает «закрытое наполовину» или «открытое наполовину», т.е. на $1/2$. На самом деле речь идёт о типах взморьев (лиман, лагуна, губа и др.), имеющих связь с морем через пролив, гирло, проран, составляющий $1/100$, $1/1000$ и менее периметра закрытой побережьем части взморья. Поэтому предлагается считать такие устьевые взморья «закрытыми приёмными водоёмами» (в отличие от открытых, имеющих водообмен по

всему периметру), как это обоснованно было принято в работах [72; 303; 304; 325; 327]. В работах [233–237] выделено 4 типа УОР. При этом тип I назван, по сложности структуры, «простым», а типы устьев II–IV получили названия по наличию в их структуре дельты и/или эстуария («дельтовая», «эстуарная», «эстуарно-дельтовая»), т.е. объединены разные классификационные признаки в рамках одной типизации, названной авторами «гидролого-геоморфологической». В названии типов УОР проигнорирован устьевой участок реки и открытая часть устьевого взморья, а также другие типы приёмных водоёмов, например, залив, часто расположенный между морем и эстуарием.

Правильное понимание дельты реки как геологической формы земной поверхности и геолого-геоморфологический анализ устьев рек мира послужили основой для разработки Коротаевым В.Н. морфогенетической классификации и районирования устьевых областей рек, представленных в работе 2012 г. [155]. Данная классификация базируется на геоморфологических критериях, в ней МУР рассматриваются не как водные объекты, а как устьевые геосистемы. В этой же работе предложена унификация некоторых определений и терминов. Основное внимание уделено дельтам рек. Предлагаемая автором схема геоморфологического районирования включает пять участков: придельтовый, дельтовый (состоящий из субаэральной и субаквальной частей конуса выноса), предустьевое пространство моря, материковый склон и абиссальную равнину. При этом не говорится, как определять верхнюю границу придельтового участка и нижнюю границу абиссальной равнины, включённые в состав «устьевой природной геоморфологической и осадочной системы» [155, с. 5].

Попытка более подробной детализации структуры УОР как водного объекта, путём выделения в ней отдельных компонентов, имеющих характерные геоморфологические особенности и обусловленную ими специфику режима и качества воды, была сделана в 2008 г. работе автора [123]. В ней предложено выделять в УОР не 2 района, как в работах [72; 232–235; 267; 311], а 2–3, в зависимости от сложности строения устья: устьевой участок реки (УУР), дельту (исключив её из УУР) и устьевое взморье (закрытое, открытое или закрыто-открытое). При этом под дельтой понималась только её субаэральная часть [155], так как выполнялось структурно-гидрологическое, а не геологическое или геоморфологическое районирование, как в работе [155]. На основе такого структурно-гидрологического подхода к районированию УОР как комплексного географического объекта, автором была усовершенствована терминология [209] и сделана типизация морских устьев рек Украины [211]. Она была дальнейшим развитием указанной выше типизации [234; 235] и имела те же недостатки: поскольку реки Причерноморья впадали в лиманы, лагуны, заливы и бухты, а не в эстуарии (так как Чёрное море – практически бесприливное), предлагалось считать устья «простыми», «дельтовыми», «лиманными» или «лиманно-дельтовыми», т.е. включать в название тип приёмного водоёма или его части. А поскольку часть МУР не поддавалась

указанному принципу типизации, было предложено отнести их к «нетиповым» [123; 211].

В дальнейшем, эволюция способов районирования, типизации морских устьев рек и усовершенствование научной терминологии заключались в совмещении отечественной концепции УОР [72; 311] с зарубежными представлениями об устьях как эстуариях [236; 237; 245; 378; 382; 394; 422–424; 428; 429], на основе гидролого-геоморфологического подхода [232–235; 267]. Принципы такого районирования были даны в работе Михайлова В.Н., Горина С.Л. в 2012 г. [237]. Здесь, как и в более ранних работах автора [123; 209; 211], предложено отказаться от двухкомпонентной структуры для всех УОР, как в [72; 233; 234; 267; 311], и перейти к четырёхэлементной (в отличие от [123]), выделив УУР, дельту, эстуарий и «устьевую зону приёмного водоёма» [237; 238]. Однако понятие «устьевая зона приёмного водоёма» (океана, моря, озера) противоречит концепции УОР как специфического географического объекта, возвращая к понятию «зона» [311], и у океана, моря, озера нет устья. Термин УОР авторами усложняется и в него вводится понятие «барьера» или «эстуарного барьера»: «...УОР представляет собой гидрологический, морфологический, седиментологический, геохимический и биологический барьер между рекой и приемным водоемом». Поскольку водная среда УОР препятствием для гидрологических, геоморфологических и прочих процессов не является, в монографии это понятие для обозначения УОР, как географического объекта, не используется. А также процессы, названные в работах биогеохимического профиля «маргинальным фильтром» [69; 88; 166], не отождествляются с определением «устьевая область реки». В условиях зарегулированного режима стока рек, когда большая часть веществ аккумулируется в водохранилищах, устьевые взморья могут являться не «фильтром» или «барьером», а источником загрязнения контактирующих объектов (например, в случае волнения, взмучивания донных осадков или большой антропогенной нагрузки на взморья, где часто располагаются порты и осуществляется сброс сточных вод). Гидробионты МУР эволюционно адаптированы к существенной изменчивости параметров среды [357; 358], поэтому и для биотической составляющей устьевые экосистемы «барьером» не являются. Поэтому в монографии речь идёт о фронтальных разделах, в соответствии с работой Фёдорова К.Н. [354], формирующихся на устьевых взморьях, которые являются фаунистическими границами для разнотипных гидробионтов [357; 358] и оконтуривают области с различными абиотическими характеристиками водной среды МУР (**Глава 5**). В последней работе 2018 г. [238] авторы возвращаются к классическому определению УОР, данному Михайловым В.Н. [233–235], более точно характеризующему данный географический объект.

В работах [236–238] трактуется понятие «эстуарий реки», который авторы не считают «устьевой зоной приёмного водоёма», его относят к «полузамкнутой системе водотоков и водоёмов... внутри которой... не менее одного сезона в году существует барьерная зона...» [237, с. 247; 238, с. 27]. Это не только вносит некоторую неопределённость в термин «эстуарий», который

большинство геоморфологов, гидрологов и океанологов обоснованно относят к устьевому взморью (или его части) и считают его приёмным водоёмом, что отражено в нормативных документах и Руководствах [72; 303; 304], но и противоречит генетическому принципу типизации водных объектов, поскольку исключается основной, формирующий эстуарий признак – приливы и отливы [409], и все приёмные водоёмы закрытого типа в [237; 238] ассоциируются с разнотипными (лиманными, лагунными, русловыми, морскими) эстуариями [237, с. 249].

Предложенная в [237, с. 246; 238, с. 24] схема районирования УОР (рис. 2.1), отличается от ранее приводимых в [233–235] схем введением IV типа УОР – «дельтово-эстуарная (с дельтой выдвигания)». Здесь, кроме эстуария, показаны лагуны (10, 11), которые в названии типа не отражены (хотя они могут быть значительно больше эстуария). По сути, тип IV можно рассматривать как переходный тип устья от типа III к типу V или как частный случай типа III, когда дельта заняла большую часть приёмного водоёма. При таком районировании непонятно, к какому типу

Рисунок 2.1 – Схема типизации и районирования устьевых областей рек (УОР) по [237; 238, рис. 1.1].

Типы УОР: I – простая (П); II – эстуарная (Э); III – эстуарно-дельтовая (с дельтой выполнения) (ЭД); IV – дельтово-эстуарная (с дельтой выдвигания) (ДЭ); V – дельтовая (Д):

1 – река; 2 – приемный водоем (океан, море, озеро); 3 – приустьевой участок реки; 4 – устьевая область реки (УОР); 5 – предустьевое пространство приемного водоема (океана, моря, озера); 6 – устьевой участок реки (УУР); 7 – дельта реки (ДР); 8 – устьевая зона приемного водоема (океана, моря, озера) (УЗПВ); 9 – эстуарий реки (ЭР); 10 – устьевая лагуна (дельтовая); 11 – устьевая лагуна (придельтовая); ВГУОР – верхняя граница УОР; НГУОР – нижняя граница УОР; ВД – вершина дельты; НКД – нижний край дельты; ВЭ – вершина эстуария; УЭ – устье эстуария; УСР – устьевой створ реки. Штриховкой выделена зона смешения водных масс реки и приемного водоема.

относить УОР, в которой дельта и эстуарий составляют равные части, какой в этом случае морфологический элемент является «главным», не ясно. Также непонятно, с какого момента «дельту выполнения» (тип III) следует переименовывать в «дельту выдвигания» (тип IV), ведь последняя, судя по рис. 2.1, ещё не полностью заполнила эстуарий и не выдвинулась в открытую часть взморья, за пределы «генеральной береговой линии», что противоречит определению такого типа дельт в [26; 93; 232; 233; 311; 371]. В работах [237; 238, рис. 1.1] под номером 1 показана «река», а под номером 6 – «устьевой участок реки» (рис. 2.1), т.е. УУР, при данном способе районирования.

ния, относится к двум разным географическим объектам – реке и УОР, что противоречит концепции УОР. Авторы подразумевают под «приёмным водоёмом» (2) океан, море, озеро, исключая из этого понятия эстуарий (9), лиман, лагуну (10, 11), залив, бухту и другие приёмные водоёмы. «Приустьевой («предустьевой», что более верно в работе [311]) участок реки» (3) и «предустьевое пространство приёмного водоема» (5) не относятся к районированию УОР, так как расположены вне её пределов.

Предложение относить к эстуарию (водоёму) «дельтовые водотоки» [237, с. 250], т.е. устьевые рукава (на том основании, что туда может поступать солёная вода), на практике затруднит выделение верхней границы эстуария, так как это водные объекты разного типа [71], а осолоняться может даже устьевой участок реки. В предлагаемой [237; 238] схеме районирования (рис. 1.2) «вершина эстуария» (ВЭ) располагается выше «нижнего края дельты» (НКД) и «дельтовые водотоки» частично включены в состав эстуария; «устьевой створ реки» (УСР) показан в типах III и V совпадающим с «вершиной дельты» (ВД), а в типе IV – ВД и УСР располагаются ниже отделения первого рукава от основного русла (последнее никак авторами не поясняется, хотя противоречит определению дельты во всех литературных источниках). Включение устьевых водотоков в эстуарий объясняется авторами правильностью предложения *Pritchard D.W.* [422–424] об установлении верхней (речной) границы эстуария по «максимальной дальности проникновения в реку осолонённых вод». Поэтому предлагают установить эту границу по изогалине 1 ‰ у дна, определяя её положение при минимальном меженном стоке, максимальном приливе или нагоне [237]. Верхняя граница эстуария, при таком способе её определения, не стационарна и может располагаться на устьевом участке реки (например, в устье р. Юж. Буг изогалина 1 ‰ иногда находится на 20–30 км выше нижней границы УУР). Не меньше проблем возникает и с определением нижней границы УОР. Непонятно, как её определять, если «плюм» пресной воды, почти не смешиваясь с солёной водой, под действием ветра и течений может перемещаться на значительные расстояния от устьевого взморья [106; 108; 110]. Использование исключительно «гидрологических признаков» (например, «зоны смешения») при районировании, уже привело к тому, что часть авторов относили к эстуариям Азовское, Балтийское, Белое моря, северную часть Тихого океана и Великие озёра [237], Таганрогский залив, Днепровско-Бугский лиман и Севастопольскую бухту [320] или продлевали УУР, распространяя его на всю Невскую губу [159].

Попытки районирования СЗЧМ по гидрофизическим, гидрохимическим и экологическим характеристикам, донным ландшафтам, геологическим условиям и др., предпринятые в работах [32; 48; 114], привели к получению иногда несопоставимых схем районирования устьевых взморьев рек или их отдельных частей. Таким образом, рассмотренные способы районирования, когда краевые части УОР относятся к контактирующим водным объектам, а границы между компонентами устья неоднозначны, затрудняют выделение УОР в отдельную таксономическую географию.

ческую единицу и типизацию МУР, приводят к неточностям в терминологии.

По-видимому, затруднением при районировании МУР и выделении её структурных компонентов предыдущими авторами (а отсюда и сложность типизации, и неоднозначность терминологии) являлось, помимо вышесказанного, попытка основным критерием разграничения устьевых компонентов сделать экологические условия или гидрологические процессы, без учёта влияния геоморфологических особенностей отдельных структурных компонентов на эти процессы и природу всего устьевого комплекса. То есть, нарушались принципы физико-географического районирования: однородности единиц районирования, универсальности, учёта закономерностей физико-географической дифференциации, простоты и удобства системы районирования для разнотипных МУР и генетический подход [114; 153; 155]. Приоритетность (и апробирование) геоморфологического подхода к районированию и типизации морских устьев рек, показанные в работах [24–26; 99; 129; 155; 234; 255; 303; 308; 311; 378; 380; 389; 391; 410; 419; 420], обусловлена относительной устойчивостью морфометрических характеристик по сравнению с гидрологическими, в большей степени подверженными антропогенным изменениям [262; 370]. Поэтому предложенные в данной работе районирование и типизация МУР основаны на анализе геоморфологических особенностей морских устьев рек как приоритетных критериях.

2.2 Структурно-гидрологическое районирование и усовершенствование научной терминологии

Учитывая взаимосвязь гидрологических и геоморфологических процессов, которые обуславливают относительную структурную устойчивость МУР при нестационарности водного режима, автором предложен структурно-гидрологический подход к районированию устьев [229]. Он основан на выделении однородных по геоморфологическим признакам и преобладающему гидрологическому режиму структурных компонентов устья, как и в [325]. Обобщённая схема МУР, позволяющая районировать устье любого типа и дающая представление о необходимости усовершенствования терминологии устьевой океанографии, показана на рис. 2.2.

Очевидно, что структура МУР включает 2–3 компонента (на рис. 2.2 их 3): УУР, Д и УВ. При этом УУР (табл. 2.1) может быть простым или сложным (на рис. 2.2 представлен сложный УУР). Устьевой участок реки, с чётко выраженными границами, естественным бесприточным основным руслом, с постоянным стоком в нём, можно считать простым, а УУР, с постоянным или временным стоком, в пределах которого происходит фильтрация потока в подземные горизонты или приёмный водоём через волноприбойный вал (то есть прекращается поверхностный сток), растекание потока по поверхности, имеются изменчивая или многокомпонентная гидрографическая сеть, гидротехнические сооружения или другие антропогенные изменения – следует

относить к сложному. В состав УУР может входить одна или несколько пра-дельт, что характерно для устьев больших рек. Поскольку пра-дельта непосредственно не контактирует с устьевым взморьем и древние рукава в её пределах трансформируются в старицы и протоки (**Словарь терминов**), которые ниже по течению сливаются в узле соединения водотоков в единое русло, этот структурный компонент можно относить к сложному устьевому участку реки.

Достаточно изученными компонентами устьев являются дельты рек, всё их разнообразие представлено и описано в многочисленных работах [12; 22; 24–26; 52; 53; 55–59; 85; 86; 93–95;

Рисунок 2.2 – Обобщённая схема районирования морского устья реки (МУР)

1 – верхняя (речная) граница МУР (ВГМУР), верхняя граница устьевое участка реки (ВГУУР); 2 – устьевой участок реки (УУР); 3 – нижняя граница УУР (НГУУР), верхняя граница дельты (ВГД); 4 – дельта (Д); 5 – нижняя граница дельты (НГД), верхняя граница устьевое взморья (ВГУВ); 6 – закрытое устьевое взморье (ЗУВ); 7 – пролив (П), нижняя граница ЗУВ; 8 – открытое устьевое взморье (ОУВ); 9 – нижняя (морская) граница МУР (НГМУР), нижняя граница устьевое взморья (НГУВ). При отсутствии дельты 3 – ВГУВ; при отсутствии ЗУВ 3 или 5 – ВГУВ.

156; 157; 232–234; 245; 247; 267; 271; 292–295; 308; 311; 321; 352; 370; 373; 375; 383; 388; 391; 396; 426; 430; 438]. Под дельтами здесь, чаще всего, понималась современная надводная их часть, сформированная в приёмном водоёме. В предлагаемом районировании, дельта, в отличие от предшественников [72; 230–235], не включена в состав устьевое участка реки (рис. 2.2). Её надводная часть рассматривалась как объект суши [155; 409], сложенный полиморфными наносами [155; 308], в пределах которого происходит деление основного русла на рукава (табл. 2.1) и формируется специфическая гидрографическая сеть и ландшафт, что обуславливает отличие гидрологического и гидрохимического режимов этого структурного компонента МУР от режима УУР и УВ. Субаквальная часть дельты, хотя и является неотъемлемой частью «устьевой природной геоморфологической и осадочной системы» [155], при районировании не учитывалась, как и другие формы подводного рельефа (бары, бороздины, устьевые ямы), потому что МУР районировалось как водный объект, а не как геоморфологическая система. К тому же, определение нижней границы конуса выноса практически затруднительно сделать, а аккумулятивно-эрозионные образования, характерные для подводного рельефа всех морских устьев рек [267], не всегда имеют субаэральную часть, существенно влияющую на гидрологический режим.

Термин «МКД» (морской край дельты [72]) был обоснованно заменён на «НГД» (нижняя граница дельты), поскольку эта граница может располагаться за сотни километров от моря. В отличие от определения ГОСТ 18457-73 [72], где МКД называется «переходной зоной между

Таблица 2.1 – Основные понятия и определения науки о морских устьях рек в соответствии с рис. 2.2

Старое определение по [72]	Новое определение
устьевая область реки (УОР): Переходная зона от реки к морю, для которой характерно взаимодействие и смешение вод реки и моря и дельтообразование	морское устье реки (МУР): Комплексный географический объект, включающий естественные и искусственные водотоки, водоёмы и особые водные объекты, специфический рельеф и ландшафт, формирующийся при впадении реки в море под влиянием природных и антропогенных факторов
–	верхняя граница морского устья реки (ВГМУР): Речная граница распространения устьевых процессов, совпадающая с верхней границей устьевых участков реки (ВГУУР)
устьевой участок реки (УУР): Часть нижнего течения реки, на которой проявляется влияние моря и происходит дельтообразование	нижняя граница морского устья реки (НГМУР): Мористая граница распространения устьевых процессов, совпадающая с нижней границей устьевых участков реки (НГУУВ) устьевой участок реки (УУР): Участок от верхней границы морского устья реки до верхней границы дельты или до нижней границы устьевых участков реки (при отсутствии дельты), на котором проявляются устьевые процессы
–	нижняя граница устьевых участков реки (НГУУР): Граница раздела между устьевым участком реки и устьевым взморьем, совпадающая с его верхней границей (при наличии дельты совпадает с её вершиной) дельта (Д): Часть морского устья реки, образованная полиморфными осадками различного генезиса в процессе дельтообразования, в пределах которой происходит деление основного водотока на рукава и формируется специфическая гидрографическая сеть и ландшафт
вершина дельты (ВД): Место отделения от реки первого дельтового рукава морской край дельты (МКД): Переходная зона между дельтой и устьевым взморьем, затопляемая в период половодья, при нагонах и приливах	верхняя граница дельты (ВГД): Место отделения от основного водотока (или главного рукава) первого устьевых рукава нижняя граница дельты (НГД): Граница раздела между дельтой и устьевым взморьем, проходящая по контуру берега между устьями рукавов, совпадающая с верхней границей устьевых участков (ВГУВ)
устьевое взморье (УВ): Часть прибрежной зоны моря, в которой проявляется влияние речного стока и происходит формирование подводной части дельты	устьевое взморье (УВ): Часть морского устья реки, от НГД или НГУУР до нижней границы морского устья реки, в которой проявляется влияние речного стока
закрытое устьевое взморье (ЗУВ): Устьевое взморье, включающее полностью или частично залив, лиман или эстуарий	закрытое устьевое взморье (ЗУВ): Приёмный водоём (или его часть), ограниченный по периметру береговой чертой и имеющий обмен с прилегающей к нему акваторией через устьевую пролив (гирло)
открытое устьевое взморье (ОУВ): Устьевое взморье, расположенное за пределами общей линии морского побережья	открытое устьевое взморье (ОУВ): Приёмный водоём (или его часть), имеющий свободный обмен с прилегающей акваторией по всему периметру
пролив (П): Относительно узкая часть океана (моря), простирающаяся между двумя участками суши и соединяющая водные пространства	пролив (П): Сужение устьевых водоёмов в месте соединения с прилегающей акваторией, составная часть устьевых взморья
отмелое устьевое взморье: Устьевое взморье, на котором речной поток занимает всю толщу воды до дна приглубое устьевое взморье: Устьевое взморье, на котором речной поток отрывается от дна и растекается по поверхности более плотных морских вод	отмелый приёмный водоём (отмелое устьевое взморье): Приёмный водоём, глубина которого соизмерима с глубиной впадающего в него водотока приглубый приёмный водоём (приглубое устьевое взморье): Приёмный водоём, глубина которого в несколько раз больше глубины впадающего в него водотока

дельтой и устьевым взморьем, затапливаемой в период половодья, при нагонах и приливах», предложенная автором в [209] трактовка термина «НГД» даёт более конкретное представление о расположении указанной границы раздела между структурными компонентами УОР, потому что границы и ширина зоны затопления изменяются в зависимости от стока реки и сочетания гидрометеорологических факторов. В период половодья, паводков, приливов и нагонов может затапливаться и дельта, и устьевой участок реки, что вносило неопределённость при определении «МКД» как зоны затопления. Определение «нижней границы дельты» как створа, проходящего по контуру берега между устьями рукавов, отделяющего взморье от дельты (**Словарь терминов**), устраняет эту неопределённость [123, с. 21; 209]. Термин «дельтовый водоток» [72], широко используемый в литературе, правильнее было бы заменить термином «устьевой рукав» или «устьевой водоток» (аналогично, не «дельтовый водоём», а «устьевой водоём» или «водоём в дельте»), потому что у дельты, как и прочих элементов суши [155], нет водотоков или водоёмов, эти водные объекты расположены в понижениях их рельефа и принципиально отличаются [71, 409]. Кроме того, водотоки и водоёмы в морских устьях рек имеются в составе не только дельты.

Полагая устьевое взморье частью МУР от НГД (или НГУУР) до МГМУР (НГУВ), в которой проявляется влияние речного стока (табл. 2.1), установлено, что нижняя граница МУР северного Причерноморья (НГУВ) может не совпадать со свалом глубин [311] или нижней границей приёмного водоёма [156], потому что влияние стока реки иногда распространяется не на весь лиман, залив, бухту или иной тип ЗУВ, а только на их часть, что характерно для устьев малых рек. В устьях больших рек, напротив, влияние реки проявляется не только в пределах ЗУВ, но и распространяется на прилегающую к нему часть моря (ОУВ). Следовательно, устьевое взморье может быть не только открытым или закрытым, но и состоять из комплекса закрытых и открытой частей приёмного водоёма, то есть быть однокомпонентным, простым, включающим частично или полностью один приёмный водоём, или многокомпонентным, сложным, включающим более одного водоёма. На рис. 2.2 показано сложное (**Словарь терминов**) устьевое взморье, состоящее из закрытой (лимана) и открытой, прилегающей к нему, части моря.

«Приглубость» или «отмелость» приёмного водоёма предложено определять по соотношению средних глубин контактирующих водных объектов в устьевом створе (табл. 2.1), а не по поведению «речного потока», как в работе [72]. Часто приёмные водоёмы являются отмело-приглубыми, т.е. включают как отмелую, так и приглубую часть, в разной пропорции. Поскольку ЗУВ разнятся не только формой, приглубостью или отмелостью, но и проточностью, генезисом ложа водоёма и берегов, гидрологическим режимом, отличающимся от режима ОУВ (моря или океана), с которыми они связаны проливами, нельзя отожд-

дествлять все ЗУВ с эстуариями [236–238], так как Чёрное море относится к малопривливному или беспривливному [19; 60–62; 93; 100; 125; 165; 244; 274; 300; 311; 325; 326; 328; 329; 335; 341] и в нём нет эстуариев [308]. Во многих литературных источниках, в соответствии с работой [72], имеется противоречие между определением залива, лимана, бухты, эстуария, лагуны и других типов ЗУВ. Все эти типы, геоморфологически и гидрологически различающихся устьевых взморьев, трактуются как заливы. Причём, если, по определению работы [72], режим залива не отличается от режима «основного водного бассейна» или «прилегающего бассейна», так как, по сути, залив является ОУВ, то остальные типы (лиман, лагуна, эстуарий, фьорд и т.д.) относятся к ЗУВ, со специфическим режимом, отличным от режима «основного водоёма», но, при этом, в работе [72] тоже названы «заливами». Поэтому в **Словаре терминов** даны определения наиболее распространённых типов закрытых устьевых взморьев, с учётом их геоморфологии и превалирующих процессов, что снимает имеющиеся в литературных источниках противоречия.

Исходя из представленной схемы районирования (рис. 2.2) отредактированы основные термины и определения, касающиеся структуры и границ МУР (табл. 2.1). В трактовку терминов и определений не включены способы определения указанных элементов (как делалось ранее [72]), так как они могут изменяться по мере развития науки о МУР. Предлагается вместо термина «устьевая область реки», трактующегося как «переходная зона», использовать термин «морское устье реки», в полной мере соответствующий концепции комплексного географического объекта, формирующегося под влиянием реки, моря, суши, атмосферы и хозяйственной деятельности.

Полностью терминология, использованная в работе, представлена в **Словаре терминов**, составленном на основании работ [26; 44; 45; 47; 51; 71–76; 123; 232–238; 243; 254; 263–265; 267; 290; 303–306; 308; 311; 313; 325; 371; 376]. Предложено 125 терминов, систематизированных в 5 разделах, освещающих различные стороны устьевой тематики. С учётом новых знаний об устьях рек введены изменения в трактовку 41 % терминов и предложена новая редакция 59 % терминов и определений, что значительно расширяет понятийный аппарат, рекомендованный в работе [72].

2.3 Типизация морских устьев рек

Для систематизации устьевых исследований традиционно использовали различные способы типизации МУР, иногда противоречивые, так как в качестве типобразующих признаков выбирали разные параметры, обосновывая их приоритетным влиянием на режим устьев [236–238]. Однако на параметры состояния МУР оказывает влияние целый спектр

взаимосвязанных факторов, интегральное воздействие которых не всегда поддаётся дифференциации.

Факторы устьеобразования традиционно подразделяются на климатические, речные, морские, рельефные и антропогенные [233]. От морфометрии устья и соотношения речных и морских факторов в основном и зависит его структура и состояние его водной среды. Взаимосвязь между факторами устьеобразования показана на рис. 2.3. Их комплексность и преобладание тех или иных факторов способствуют многообразию устьев, усложняют анализ явлений и процессов, что затрудняет применение методов гидродинамических расчётов, разработанных для водных объектов с более однородным распределением характеристик в пространстве и во времени. Влияние указанных факторов различно в отдельных частях устьев, что также затрудняет выбор одного, универсального классификационного критерия.

Рисунок 2.3 – Основные факторы формирования морских устьев рек

«Фоном», на котором развиваются устьевые процессы, и их основным зональным фактором является климат. От климатических условий зависят другие факторы формирования морского устья (рис. 2.3), так как изменение климата приводит к изменению гидрологического режима контактирующих водных объектов [167–168; 233; 234; 262; 384; 411; 412; 418; 420].

Действие речных факторов (стока воды, тепла и веществ, уровня воды, ледовых явлений, биологических пресноводных компонентов) регламентируется речным стоком и его транспортирующей способностью. Речной сток является одним из основных устьеобразующих факторов – от его величины зависит степень влияния реки на устьевое взморье, стратификация и смешение вод, дельтообразование, перераспределение стока воды в устьевых рукавах, динамика галоклина [32; 68; 93; 118; 119; 120; 123; 130; 131; 154; 155; 232–235; 255; 400; 409; 415; 427; 433].

К морским факторам относятся: уровень моря, сгонно-нагонные, приливно-отливные и ледовые явления, морские течения и волнение, физические и химические свойства морской воды, её гидробиологический состав и загрязнённость. Степень их влияния на морское устье реки определяется строением устьевого взморья и речным стоком. Чем больше влияют речные факторы, тем меньше роль морских факторов [2; 25; 32; 99; 100; 107; 116; 146; 233; 261; 267; 291; 303; 417].

Антропогенные факторы по масштабам влияния на устья, особенно малых рек, иногда могут превосходить природные. Это гидротехническое строительство (как в устье, так и в реке), водозабор и сбросы, регулирование стока реки, загрязнение среды, одамбование русел, дноуглубление и пр. Кроме того, по мере освоения территорий, может быть существенно изменён рельеф местности и даже её микроклимат. [18; 19; 23; 30; 31; 70; 142; 152; 221; 262; 409; 426].

Комплекс форм рельефа, в разной степени зависящий от устьевых процессов, обуславливает геоморфологические отличия структурных компонентов морских устьев рек и довольно устойчив во времени. Геоморфологическое разнообразие – основа практически всех типизаций морских устьев рек, так как от уклона, строения взморья, размываемости пород и почв зависит взаимодействие потока и суши [154; 155; 232; 311; 352; 368; 378; 382; 385; 409; 417; 420].

По каждой рассмотренной группе факторов можно выделить классификационные признаки, причём они могут различаться для отдельных участков конкретного морского устья, т.е. не являться универсальными для всего устья целиком из-за существенных различий между устьевым участком реки, дельтой и устьевым взморьем, что показано в работах [233–235].

Анализ основных режимных характеристик в различных МУР (**Глава 3**) и работ [8; 232–235; 238; 322; 325; 409] показал, что при одинаковых гидрометеорологических условиях различия в процессах взаимодействия и смешения речных и морских вод зависят от наличия дельты и типа устьевого взморья (море, лиман, лагуна, бухта, залив). Особенности гидрологического режима обусловлены именно строением МУР [303], поэтому его структура является основным классификационным признаком, наиболее общим и универсальным. При наличии в структуре устья ЗУВ, речное влияние на прилегающую часть моря проявляется опосредованно, а при впадении реки в открытое море сток реки оказывает на него непосредственное влияние, формируя ОУВ. Таким образом, основными причинами многообразия морских устьев рек, являются структурно-морфологические различия (рис. 2.4), поэтому общая типизация морских устьев рек выполнена по наиболее существенным признакам, характеризующим различия в их структуре, с учётом степени хозяйственного

освоения бассейнов рек и их устьев [211].

Рисунок 2.4 – Причины типового разнообразия морских устьев рек

Типизация выполнялась с помощью карт различного масштаба [135–138], сведений, приведенных в работах [10; 26; 33; 48; 49; 52; 95; 96; 140; 142; 155; 156; 165; 233–238; 244; 308; 311; 420] и собственных материалов обследования устьев рек [198–200; 208; 211; 212; 216; 218; 226]. Структурное многообразие устьев рек региона ограничено 2 типами с 3 под-типами каждый (табл. 2.2), что значительно упрощает классификацию МУР и делает её более универсальной [229].

Частный случай трёхкомпонентного МУР (3в, табл. 2.3), со сложным устьевым участком реки и сложным, двухкомпонентным устьевым взморьем (ЗУВ и ОУВ соединены проливом), показанный на рис. 2.2, характерен для морских устьев некоторых больших рек, например, таких как реки Днепр, Днестр, Енисей, Обь, Печора.

Кроме указанных в табл. 2.2 типов выделяются нетиповые МУР (например, в северном Причерноморье и Приазовье их почти половина [211]). Это: пра-устья (палео-устья), устья древних рек, изолированные от моря (перешедшие в озёрную или болотную стадии развития); устья пересыхающих в низовьях рек или рек, не имеющих поверхностного стока; с деформирующимися и изменяющимися в плане устьевыми участками рек; с блокированными и мигрирующими устьевыми водотоками; антропогенно-изменённые устья. В нетиповых МУР может быть: сочетание перечисленных признаков; устьевое взморье может быть отделено от моря или части взморья естественной или искусственной перемычкой, дамбами, молами; не выражен устьевой участок реки или однорукавный участок при определённых условиях становится многорукавным и наоборот; отсутствие выраженного руслового стока, растекание речного потока на многие километры по заболоченной территории, затапливаемой при нагонах морской водой; дренирование в подземные горизонты

Таблица 2.2 – Структурно-гидрологическая типизация морских устьев рек
(обозначения такие же, как и на рис. 2.2)

Тип и структура МУР	Характерные особенности
<p>1. Двухкомпонентное</p> <p>а) </p> <p>б) </p> <p>в) </p>	<p>а) УУР (простой или сложный) и ОУВ (включающее залив целиком или его часть, часть моря или океана);</p> <p>б) УУР (простой или сложный) и ЗУВ (включающее целиком или часть лимана, эстуария, бухты, лагуны, лимано-лагуны, фьорда, риаса);</p> <p>в) УУР (простой или сложный), ЗУВ и ОУВ или система взаимосвязанных ЗУВ и ОУВ.</p> <p>Область адвекции пресной воды в подтипах (1б, 1в) больше, чем в (1а), так как берега препятствуют растеканию одноструйного потока речной воды. Устья малых рек преимущественно имеют типы (1а, 1б), средних рек – (1б, 1в).</p>
<p>2. Трёхкомпонентное</p> <p>а) </p> <p>б) </p> <p>в) </p>	<p>а) УУР (простой или сложный), Д (любого типа), ОУВ (включающее залив целиком или его часть, часть моря или океана);</p> <p>б) УУР (простой или сложный), Д (любого типа), ЗУВ (включающее целиком или часть эстуария, лимана, бухты, лагуны, лимано-лагуны, фьорда, риаса);</p> <p>в) УУР (простой или сложный), Д (любого типа), ЗУВ и ОУВ или система взаимосвязанных ЗУВ и ОУВ.</p> <p>Деконцентрация водного потока в дельте (2а–в) обуславливает более широкий фронт распределения устьевоего взморья, чем в двухкомпонентном устье (1а–в), область адвекции пресной воды в (2а) меньше, чем в (2б, 2в), так как берега ЗУВ препятствуют растеканию речных струй. Такими бывают устья средних и, преимущественно, больших рек.</p>

речного потока в низовьях рек; переход руслового стока в подрусловой [10]; отсутствие стока из-за чрезмерного водозабора; преобладание сбросов сточных, дренажных или других вод вместо естественного стока на устьевом участке реки. Если морское устье реки было реконструировано (перепланировка поймы, спрямление русел и пр.) или сток реки был изменён (например, разобран на орошение или осуществлялись сбросы дренажных вод в устьевые водотоки), изменён уклон реки и образована «противорека», как в низовьях р. Ингулец, образован Инкерманский лиман на устьевом участке р. Чёрной, перепланирована пойма устьевоего участка р. Бельбек и др., то это иногда приводит к изменениям устьеформирующих условий, компонентов устья и затруднениям при его типизации.

В таблице 2.2 характеристика гидрологических особенностей для каждого типа устья дана для рек одного размера при одинаковых гидрометеорологических условиях и одинаковых глубинах на взморьях. При разнотипности устьев рек одинакового размера (ма-

лых, средних или больших), область адвекции пресной воды на устьевом взморье из одно рукавного потока (1а–в) будет меньше по ширине и больше по длине, чем для многорукавного потока (2а–в). При прочих равных условиях на ЗУВ распределение будет распространяться мористее, чем на ОУВ.

По такому принципу выполнена типизация МУР северного Причерноморья (табл. 2.3), а ранее и морских устьев рек украинской части побережья Чёрного и Азовского морей [211]. Однако в работе [211], для сохранения преемственности с фундаментальными работами Михайлова В.Н. [232–235], была сделана гидролого-геоморфологическая классификация МУР, с типизацией отдельных частей единого устьевого взморья, включённых в названия типов.

Таблица 2.3 – Типизация морских устьев рек северного Причерноморья

Река	Длина реки, км	Куда впадает река	Подтип (табл. 2.2)	Структурные компоненты
Алкалия	67	лим.-лаг. Бурнас, Чёрное море	1в / нтп	УУР, ЗУВ*, ОУВ*
Альма	79	зал. Каламитский, Чёрное море	1а / нтп	УУР, ОУВ
Андус	10	Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Байбуга	20	Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Барабой	74	Чёрное море	2б / нтп	УУР, Д, ОУВ
Бельбек	55	Чёрное море	1а / нтп	УУР***, ОУВ
Березань	160	лим. Березанский, Чёрное море	1в / нтп	УУР, ЗУВ***, ОУВ
Большой Куяльник	150	лим.-оз. Куяльницкий, Чёрное море	2б / нтп	УУР, Д, ЗУВ**
Ворон	16	Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Демерджи	13	Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Дерекойка	10	Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Днепр	2200	лим. Днепровский, Чёрное море	2в	УУР, Д, ЗУВ, ОУВ
Днестр	1350	лим. Днестровский, Чёрное море	2в	УУР, Д, ЗУВ, ОУВ
Домузла	23	лим. Тубальский, зал. Обиточный, Чёрное море	1б / нтп	УУР***, ЗУВ***
Дунай	2860	Чёрное море	2а	УУР, Д, ОУВ
Дюрсо	14	Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Западный Булганак	49	зал. Каламитский, Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Ингул	354	лим. Днепровско-Бугский, Чёрное море	1б	УУР, ЗУВ
Ингулец	549	лим. Ингулецкий, р. Днепр, лим. Днепровско-Бугский, Чёрное море	1б / нтп	УУР***, ЗУВ
Каланчак	40	лим. Каланчакский, зал. Каркинитский, Чёрное море	1в / нтп	УУР***, ЗУВ, ОУВ

Река	Длина реки, км	Куда впадает река	Подтип (табл. 1.2)	Структурные компоненты
Кача	64	Чёрное море	1а / нтп	УУР, ОУВ
Когильник	243	лим.-лаг. Сасык, Чёрное море	2в / нтп	УУР, Д, ЗУВ, ОУВ
Малый Куяльник	89	лим.-оз. Хаджибейский, Чёрное море	2б / нтп	УУР, Д, ЗУВ**
Озерейка	15	Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Приморская	16	Керченская бух. Керченский пр.	1а / нтп	УУР***, ОУВ***
Самарчик	42	зал. Каркинитский, Чёрное море	нтп	не выявлены, ОУВ*
Сарата	119	лим.-оз. Сасык, Чёрное море	2б/нтп	УУР, Д, ЗУВ***
Сосик (Сосык)	40	лим. Березанский, Чёрное море	2б/нтп	УУР, ЗУВ, ОУВ
Сукко	12	Чёрное море	1а / нтп	УУР, ОУВ
Таракташ	22	Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Тилигул	180	лим. Тилигульский, Чёрное море	2б / нтп	УУР, Д, ЗУВ*
Тобе-Чокрак	48	лим.-оз. Кызыл-Яр, Чёрное море	1б / нтп	УУР***, ЗУВ***
Улу-Узень	10	Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Улу-Узень	12	Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Ускут	11	Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Хаджидер	84	лим.-лаг. Алибей, Чёрное море	2в	УУР, Д, ЗУВ*, ОУВ*
Чатырлык	106	зал. Каркинитский, Чёрное море	нтп	УУР***, ЗУВ***, ОУВ
Чёрная	35	лим. Инкерманский, бух. Севастопольская, Чёрное море	1в / нтп	УУР***, ЗУВ***, ОУВ
Чит-Оба	10	Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Цемес	14	бух. Цемесская, Чёрное море	1а / нтп	УУР, ОУВ
Шелен	10	Чёрное море	1а	УУР, ОУВ
Южный Буг	806	лим. Бугский, Чёрное море	1в	УУР, ЗУВ, ОУВ

Примечания

1. Тип устья, который имел место ранее (числитель) и к которому МУР отнесено в настоящее время (знаменатель), вследствие произошедших изменений.
2. Особенности современного режима отдельных структурных компонентов: * – имеется периодическая связь с рекой или морем; ** – не имеет водообмена поверхностных вод с морем; *** – антропогенное влияние.
3. лим. – лиман, зал. – залив, лим.-лаг. – лимано-лагуна, лим.-оз. – лимано-озеро.
4. УУР – устьевой участок реки; Д – дельта; ЗУВ – закрытое устьевое взморье; ОУВ – открытое устьевое взморье.
5. нтп – нетиповое или антропогенно изменённое морское устье реки.

В табл. 2.3 приводится типизация 42 морских устьев рек северного Причерноморья длиной более 10 км. Большинство рассматриваемых рек, впадающих в Чёрное море, относятся к малым; они немногочисленны, некоторые пересыхают или «разбираются» на орошение. Зачастую на устьевом участке малой реки сток может отмечаться только в период до-

ждей или сбросов из водонакопителей, что приводит к изменению естественного развития морского устья. На отдельных малых реках процессы дельтообразования прекратились из-за отсутствия стока воды и наносов, для других (с перекрытыми устьевыми взморьями) характерно заиливание устьевых водоёмов. Устья селеопасных рек подвергаются катастрофическим изменениям.

Чем больше река, тем точнее можно определить стадию циклического развития её устья [10; 26], установить тип. Для малых рек, в условиях значительной антропогенной нагрузки, типизация МУР затруднена из-за нарушения естественного хода процессов устьеобразования.

Половина современных МУР северного Причерноморья – нетиповые, так как значительный водозабор, строительство водохранилищ и прудов, перепланировка пойм в устье, канализование русел, изменение морфометрии водоёмов и водотоков, строительство обводных каналов, плотин, дамб и другие вмешательства привели, зачастую, к необратимым изменениям компонентов морского устья и процессов устьеобразования [211]. Морские устья больших рек северо-западной части Чёрного моря относятся к подтипу 2в (Днепр, Днестр) и 2а (Дунай), малых – к 1а и «нТП» (нетиповые), средних – равновероятно к 1б, 1в, 2б и 2в подтипам. Кроме указанных в табл. 2.3 устьев, к нетиповым можно отнести древние устья малых рек Причерноморья, которые сейчас перешли в озёрную стадию развития, отчленившись от моря косами.

Анализ гидрографии и геоморфологии различных морских устьев рек северного Причерноморья (рис. 1.1) показал, что разнотипные морские устья рек Дунай (2а), Днепр (2в) и Юж. Буг (1в), Ингул (1б), Ингулец (1б/нТП), Березань (1в/нТП), Сосик (2б/нТП), Чёрная (1в/нТП) и Бельбек (1а/нТП) в основном отражают представленное в табл. 2.3 многообразие этих географических объектов, поэтому далее рассматривались МУР СЗЧМ, приведенные на рис. 2.5. Многокомпонентный устьевой комплекс рек Днепр, Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Березань и Сосик, включающий разнотипные устья, отнесён к типу 3в, поскольку имеет шесть устьевых участков рек, одну дельту р. Днепр, четыре взаимосвязанные закрытые устьевые взморья и одно общее открытое устьевое взморье.

На рис. 2.5 степень влияния бассейновых факторов на морские устья рек характеризуется коэффициентом K (выраженным в процентах), равным отношению площади морского устья ($F_{МУР}$) к площади бассейна ($F_{бас}$). Влияние бассейновых факторов (например, смыв веществ с территории водосбора) в наибольшей степени проявляется в морском устье р. Бельбек, ($K = 0,3 \%$), менее всего они влияют на морское устье р. Чёрной ($K = 3 \%$).

На примере этих разнотипных устьев рек (рис. 2.5) выполнен анализ режима и качества воды, взаимосвязанных процессов и явлений, оценены тенденции, которые необходи-

мо учитывать для рационального природопользования, отработана стратегия междисциплинарных исследований (рис. 1.5). Размеры рассматриваемых географических объектов (площадью от 1,5 до 17000 км²) и сток устьеобразующих рек (от 0,06 до 211 км³) охватывают весь диапазон соответствующих величин не только для морских устьев рек северо-западной части Чёрного моря и северного Причерноморья, но и всего моря.

Рисунок 2.5 – Морские устья рек Дунай, Днепр и Южный Буг, Бельбек и Чёрная

2.4 Районирование разнотипных устьев рек северо-западной части Чёрного моря

Морские устья рек Дунай, Днепр и Юж. Буг, Чёрная и Бельбек (рис. 2.5) имеют разные сочетания структурных элементов, что и обуславливает различия их гидрометеорологического режима, формирующегося под влиянием указанных выше факторов (рис. 2.3, 2.4), и, согласно типизации автора (табл. 2.2, 2.3), устья рек Дунай и Днепр являются трёхкомпонентными, они имеют дельты, но отличаются строением устьевых взморьев (закрытое, наполовину оттелое, у р. Днепр и открытое, преимущественно приглубое, у р. Дунай). Остальные реки двухкомпонентные и впадают в водоёмы разного типа: Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Березань, Сосик – в лиманы, р. Чёрная – в бухту, р. Бельбек – в открытое море. Антропогенное вмешательство отмечено во всех рассматриваемых устьях. По строению

устьевых взморьев очевидна идентичность между Днепро-Бугским, Березанским лиманами и Севастопольской бухтой, а также между открытыми устьевыми взморьями рек Дунай и Бельбек. Устьевые участки всех малых рек близки по строению, дельты рек Дунай и Днепр имеют по 3 главных рукава (Килийский, Сулинский и Георгиевский; Конка, Бакай и Рвач соответственно).

Принципы районирования для рассматриваемых МУР были общими и основывались не только на их геоморфологических и гидрологических особенностях, как делалось ранее, но и на антропогенных изменениях [129; 208; 209; 211; 229], выразившихся во включении в состав устьев новых водных объектов, оказывающих влияние на отдельные части МУР (рис. 2.6).

За вершины морских устьев рек принимались верхние границы распространения устьевых процессов, исходя из имеющихся данных многолетних наблюдений и литературных источников [52; 156; 216, с. 14]. Впервые (ориентировочно) определены вершины морских устьев рек Ингул, Ингулец, Березань и Сосик, включенных в устьевую комплекс рек Днепр и Юж. Буг и имеющих общее устьевое взморье, и вершины устьев рек Чёрная и Бельбек [216, с. 48–57; 225].

Устьевые участки рек, не имеющих дельты (Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Чёрная, Бельбек), расположены от вершин устьев до нижних границ устьевых участков рек. Для рек Дунай и Днепр, образующих дельты, устьевые участки рек, в отличие от общепринятых представлений [32; 52; 72; 55–59; 311], принимались от вершин устьев до вершин дельт, как в работах автора [123; 209]. Это обусловлено тем, что в пределах дельт черты речного режима утрачиваются, основное русло делится на водотоки, взаимосвязанные с водоёмами, плавнями, болотами, которые периодически затапливаются речной и морской водой, русла водотоков не имеют типичных речных русловых образований, плёсов, перекатов и др.

Устьевые участки рек относились к простым, если их границы были чётко выражены и отмечался постоянный сток в бесприточном основном русле (реки Дунай, Юж. Буг, Ингул) и к сложным, когда границы были не выражены, имелась сложная гидрографическая сеть, антропогенные изменения, постоянный или временный поверхностный сток (реки Днепр, Ингулец, Березань, Чёрная, Бельбек, Сосик).

Дельта р. Дунай подробно районирована в работах [52; 55] и на схеме (рис. 2.6) детализация не приводится. Ниже УУР р. Днепр выделяются, аналогично работе [156], три района: две более древние дельты и одна современная (рис. 2.6), отличающиеся системами дельтовых водотоков. Две внутренние дельты имеют «параллельно-сочленённые» водотоки, а внешняя – сложноразветвлённую систему рукавов [267]. Суша, подверженная влиянию устьевых процессов, учитывалась при определении размеров отдельных районов и

морских устьев рек в целом.

Анализ структуры устьевых взморьев показал, что они тоже подразделяются на простые и сложные, что показано в работе автора [209]. Простое устьевое взморье характерно, например, для рек Дунай и Бельбек, а сложное – для рек Чёрная, Днепр, Юж. Буг, Березань и Сосик. На закрытых устьевых взморьях этих рек выделено, по степени преобладающего влияния речных и морских факторов, по три характерных района (рис. 2.6): $3a_1$ – область адвекции речной воды; $3a_2$ – центральная часть зоны смешения; $3a_3$ – область адвекции морской воды. Березанский лиман в настоящее время разделён дамбой на два района (пресный и солоноводный). Анализ процессов смешения разнородных вод, на основе которого выполнено детальное районирование устьевых взморьев рек, приводится в **разделе 6.4**.

Морские границы устьев рек определялись по методике автора, изложенной в работе [224] и рассмотренной в **разделе 6.4**. В качестве основного критерия для разграничения устьевого взморья и моря использовался средний за многолетний период коэффициент вариации (C_v) солёности воды, равный для устьев больших рек $\leq 0,1$, а малых $\leq 0,02$, т.е. в пределах погрешности определения солёности воды и её C_v ($\leq 10\%$). Поскольку мористее C_v оставался постоянным, речной сток в большую часть года не оказывал влияния на режим прилегающих к НГУВ частям моря и устьевые процессы за эти границы в среднем не распространялись. Установленные таким способом нижние границы устьевых взморьев рек Дунай, Чёрная и Бельбек были близки к изогаине 17,8 ‰, отличающейся на CKO (0,2 ‰) от средней солёности поверхностного слоя прилегающей открытой части Чёрного моря [60–62], и к значениям, полученным для СЗЧМ разными методами другими авторами в работах [32; 48; 117; 125]. Морская граница устья рек Днепр и Юж. Буг проходила по изогаине 15,8 ‰, отличающейся от средней солёности поверхностного слоя воды СЗЧМ [84], на CKO (0,9 ‰). Предпочтение C_v солёности её CKO обусловлено существенной изменчивостью последней характеристики и её зависимости от среднего значения солёности, что приводило к несопоставимости CKO солёности как между различными устьями, так и на противоположных границах устьевого взморья, где её средние величины отличались на порядок и более [224; 296].

Другие критерии определения морской границы устьев, например, предложенные в работах [100; 233], в данном случае неэффективны, так как совместное влияние стока рек СЗЧМ распространяется на всю акваторию этой части Чёрного моря. Подробное обоснование выбора критерия для определения морских границ устьев рек приведено в работах автора [219; 224]. Использование C_v солёности воды для ограничения устьевых взморьев позволило впервые (хотя и приближённо) определить размеры МУР СЗЧМ при средних многолетних гидрометеорологических условиях и районировать зону смешения речных и морских вод (**Глава 6**, с. 248–252).

Морские устья рек Чёрная и Бельбек районированы впервые [208; 230]. Внесены изменения в районирование морского устья р. Дунай, предпринятое авторами работы [52]. Это обусловлено учётом не только геоморфологических и гидрологических, но и антропогенных факторов. В состав этого МУР включены водоёмы (придельтовые озёрные комплексы), которые имели постоянную или периодическую связь с устьевыми водотоками, так как регулируемый водообмен между водными объектами оказывал влияние на отдельные части устья. В отличие от других исследователей, впервые в состав морского устья рек Днепр и Юж. Буг были включены Березанский лиман, устьевые участки рек Березань, Сосик (Сосык), а также рек Ингул и Ингулец, определён морской район устья (Зв), районирован Березанский лиман.

Такая детализация позволила определить размеры и уточнить структуру МУР СЗЧМ, получить новые представления о состоянии и процессах, характерных для отдельных компонентов устьев, сформулировать гипотезу об их прошлом и возможных в будущем изменениях.

2.5 Общие физико-географические сведения об устьях рек

Краткая физико-географическая характеристика сделана по результатам сравнительного анализа климата, ландшафта, гидрометеорологической изученности, гидрографической сети, хозяйственного освоения и базируется на данных Государственного водного кадастра (ГВК), подготавливаемого СО ГОИН (МО УкрНИГМИ) совместно с ДГМО и НЦГМ (1961–2012 гг.), а также материалах наблюдений Крымского ЦГМ за современный климатический период (1961–2017 гг.) и литературных источниках [18; 60–62; 78–84; 143; 244; 334]. На примере морских устьев больших (Дунай и Днепр), средних (Юж. Буг, Ингул, Ингулец) и малых (Бельбек и Чёрная) рек СЗЧМ выделены общие физико-географические черты и особенности, представленные в работах автора [123, с. 125–134; 208; 216, с. 54]. Статистические характеристики рассчитывались в соответствии с [260; 296], их ошибки не превышали 10 % (т.е. они были близки к норме).

Морфометрические характеристики рассматриваемых морских устьев рек приведены в табл. 2.4. Размеры устьев малых рек уточнены по данным экспедиций 2015–2019 гг. [225; 230]. На суше границы морских устьев рек определялись по дальности распространения влияния устьевых процессов на побережье: затопления и подтопления территорий, абразии, обвально-оползневых процессов, подпора при нагонах; морские границы – по коэффициенту вариации солёности воды. Также при определении площадей устьев рек учитывались площади водосборов притоков и овражно-балочной сети (полностью или частично,

в зависимости от их роли в устьевых процессах), так как их постоянный или временный сток оказывал влияние на состояние рассматриваемых морских устьев рек. При невозможности выделения указанных участков устьев, расчёт площадей производился в пределах водоохранных зон, в соответствии с [44; 45].

Таблица 2.4 – Общие сведения о морских устьях рек северо-западной части Чёрного моря

Устье реки	Характеристика устья реки			
	площадь, км ²	протяжённость, км	длина УУР, км	$K_{бас.}$, %
Дунай	17000	250	54,3	2,08
Днепр и Юж. Буг	5000	233 ^{*)}	50,0 ^{*)}	0,85 ^{**)}
Чёрная	13 ^{***)}	12 ^{***)}	0,6 ^{***)}	3,04 ^{***)}
Бельбек	1,5 ^{***)}	1,9 ^{***)}	0,9 ^{***)}	0,30 ^{***)}

Примечания

1. ^{*)} – длина УУР и протяжённость устья приведены для р. Днепр и Днепроовского лимана вдоль его продольной оси; длина УУР р. Юж. Буг – 59 км, Бугского лимана – 50 км;
2. ^{**)} – отношение площади морского устья рек Днепр и Юж. Буг к суммарной площади бассейнов рек Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец.
3. ^{***)} – приближённые значения: из-за недостатка данных (устье р. Бельбек) или распределения взморья, кроме реки, сточными, ливневыми и подземными водами (устье р. Чёрной).
4. $K_{бас.}$ – бассейновый коэффициент, равный отношению площади морского устья ($F_{мур}$) к площади бассейна ($F_{бас}$) устьеобразующих рек.

Общее устье рек Днепр, Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Березань и Сосык расположено на Причерноморской низменности, р. Дунай – на дельтовой равнине, р. Чёрной и р. Бельбек – в предгорно-равнинном районе Крыма на низменных участках, высота которых над уровнем моря не превышает 100 м. Взморья сформированы на северо-западном шельфе Чёрного моря, ограниченном 100-метровой изобатой [60]. Преобладают отрицательные формы рельефа. Днепроовско-Бугско-Березанский лиманный комплекс (рис. 2.6а) глубоко вдаётся в сушу и образован при затоплении морем долины рек Днепр, Юж. Буг и Березань. Взморье р. Чёрной (рис. 2.6б) – затопленный морем грабен и эрозионная речная долина [33]. Это взморье имеет закрытую ($З_а$) и открытую ($З_в$) части, представляет собой комплекс Инкерманского лимана ($З_б$) и взаимосвязанных бухт. Его закрытая часть ($З_а$) ограничена мысами, искусственно удлинёнными молами, и имеет вблизи противоположных границ два порога, что придаёт ему сходство с Днепроовско-Бугским лиманом. По данным работы [33] в период трансгрессии на месте бухты был лиман.

Дельты рек Дунай и Днепр (рис. 2.6), на 60–90 % заняты плавнями. Дельта р. Днепр – дельта выполнения [26], формируется в Днепроовском лимане в условиях ослабленного влияния морских факторов, р. Дунай – дельта выдвижения [26], формирующаяся на откры-

том устьевом взморье при сильном влиянии морских факторов. Имеются антропогенно-изменённые участки дельт, обусловленные сооружением каналов, шлюзов, обвалованием, спрямлением рукавов, дноуглублением и др.

Слой аллювиальных отложений, в устье р. Дунай – 100 м и более [52], в устье р. Днепр – 50 м [156], в устьях малых рек – 5–10 м, в отдельных местах до 45 м [33; 363], свидетельствует о существенной роли стока в формировании рельефа. В аллювиальных отложениях подрусловой сток рек Чёрная и Бельбек, поступающий на устьевые взморья, в 3–5 раз превышает поверхностный сток [199], оказывая распресняющее влияние на устьевые взморья этих малых рек.

Уклоны устьевых участков рек, обуславливающие скорость течения и динамику галоклина [239; 261], могут оказывать влияние на тип русловых процессов, дельтообразование и осадконакопление на устьевых взморьях [10; 13; 25; 59; 69; 93; 277; 308]. Средний уклон между вершиной морского устья рек Днепр и Юж. Буг и взморьем составлял 0,003–0,008 ‰, а р. Чёрной – 1,05 ‰ (в 130–350 раз больше). Морские устья рек, впадающих непосредственно в море, тоже существенно отличались по уклону устьевых участков рек: средний уклон в устье р. Дунай составлял около 0,016 ‰, р. Бельбек – 1,82 ‰ (в 114 раз больше).

По преобладающему типу почв выделяется две группы морских устьев: реки Днепр, Юж. Буг и Дунай – чернозёмы южные степные; реки Чёрная и Бельбек – коричневые почвы сухих лесов и кустарниковых луго-степей [19; 244].

Сложность гидрографической сети рассматриваемых МУР пропорциональна их размерам и стоку: чем больше устье, тем сложнее и многообразнее его гидрографическая сеть, тем она более развита. Детальные сведения о гидрографической сети приводятся в работах автора [123, с. 60–97; 208; 216, с. 48–69]. Густота речной сети на УУР больших рек 0,21–0,51, в дельтах – 0,42–1,85. Эта характеристика для устьев малых рек Крыма незначительная (менее 0,05).

Согласно климатической классификации Чёрного моря, предложенной Лабунской Л.С. и Соркиной А.И. в работе [334], устья рек Дунай, Днепр и Юж. Буг отнесены к Северо-Западному, а устьевые взморья рек Бельбек и Чёрная – к Крымскому районам Чёрного моря. Подробный анализ климатических особенностей, рассматриваемых морских устьев рек, описание метеорологического режима и опасных метеорологических явлений приведено в работах автора [123, с. 97–24; 216, с. 82–103]. Сравнение метеорологических условий над морским устьем рек Дунай и Днепр показало, что по погодным условиям Северо-Западный район не являлся однородным, потому что морское устье рек Днепр и Юж. Буг чаще находилось под влиянием восточного, северо-восточного и северного переноса воздушных масс, а устье р. Дунай – западного и северо-западного переноса. Анализ тенденций температуры

воздуха, «градусо-дней мороза» и других метеорологических параметров свидетельствовал о том, что Северо-Западный климатический район включал две климатические области: западную (устье р. Дунай) и северо-восточную (устье рек Днепр и Юж. Буг). Погодные условия западной области рассматриваемого климатического района (устье р. Дунай) отличались более мягким климатом, имевшим тенденции к потеплению. В северо-восточной области (устье рек Днепр и Юж. Буг) метеорологические характеристики значимых тенденций не имели. В свою очередь, макроклиматы отдельных частей устьев также отличались, потому что одни из них были более подвержены влиянию моря, другие – суши. По материалам натурных наблюдений автором в работе [216, с. 85] впервые выполнено климатическое районирование Днепро-Бугского устьевого региона.

На основе метеорологических наблюдений, обобщённых в [83], и литературных данных [19; 60–62; 143; 244; 334] установлено, что средняя годовая температура воздуха в рассматриваемом регионе Причерноморья составляла 9,8 (г. Николаев) – 12,1 °С (г. Севастополь) и изменялась в зависимости от широты места. Значимых тенденций (оценённых по критерию Фишера [260] для 95 % уровня значимости) средней годовой температуры воздуха за современный климатический период не обнаружено, исключая метеостанцию в г. Измаиле, где средний многолетний прирост температуры воздуха составлял 0,02 градуса в год. Увеличение температуры воздуха в западной области Северо-Западного климатического района Чёрного моря в различные периоды отмечалось в работах [167; 168; 177; 411; 412; 418; 436]. Наибольшая температура воздуха достигала 41 °С, минимальная – минус 32 °С.

Средняя скорость ветра составляла около 4 м/с. Для всех морских устьев рек было характерно увеличение скорости ветра по мере приближения к морю. Над морским устьем р. Дунай преобладал северный и северо-западный ветер, рек Днепр и Юж. Буг – северо-восточный и северный, р. Чёрной – восточный и южный, р. Бельбек – северо-восточный, южный и северный. На ряде метеостанций скорость ветра имела выраженную тенденцию к уменьшению, особенно зимой. Однако ежегодно отмечался сильный ветер. В Крымском районе ветер достигал уровня особо опасного метеорологического явления (скорость ветра была 25 м/с и более) в среднем 7 раз за 10 лет, в Северо-Западном – вдвое реже.

Средний за год слой осадков составлял 400–480 мм; значимых тенденций не обнаружено, исключая г. Измаил, где осадки в среднем за рассматриваемый период увеличивались на 2,1 мм в год. Если в Северо-Западном районе (устья рек Дунай, Днепр и Юж. Буг) наибольшее количество осадков выпадало летом, то в Крымском районе (устья рек Чёрная и Бельбек) «сезон дождей» наблюдался в осенне-зимний период, когда число дней с суточным количеством осадков ≥ 20 мм составляло 60 % от годового. Наибольшие по масштабам

особо опасные метеорологические явления наблюдались во всех устьях рек. Подробнее экстремальные метеорологические характеристики рассмотрены в **Главе 5**, с. 185–188, 212.

Отсутствие тенденций средних многолетних значений температуры воздуха и осадков на большинстве метеостанций в МУР СЗЧМ не говорит о том, что не произошли климатические изменения этих характеристик за рассматриваемый период в зоне формирования стока устьеобразующих рек. Так, по данным работ [168; 177; 178; 411; 412; 436], в бассейнах рассматриваемых больших рек в холодный период года увеличилась температура воздуха и количество жидких осадков, уменьшилась высота снежного покрова, а в тёплый период года уменьшилась скорость ветра и количество осадков.

Во всех рассматриваемых устьях осуществлялась многоотраслевая хозяйственная деятельность, активность которой в последние 15 лет снизилась на 60–90 % [104; 126; 221; 244; 335; 373], но проблемы конфликтогенности природопользования не уменьшились, а местами возросли [353]. В устьевых регионах было развито сельское хозяйство. Рыболовство сохранилось в устьях рек Днепр и Дунай, а вот взморья рек Юж. Буг, Бельбек и Чёрная практически утратили былое рыбопромысловое значение. Судоходство осуществлялось в устьях рек Дунай, Днепр, Юж. Буг и Ингул, а также на устьевом взморье р. Чёрной. Наиболее развитыми промышленными районами являлись устьевые регионы рек Юж. Буг и Чёрная. Здесь, в городах (Николаев, Херсон и Севастополь), сосредоточены промышленные комплексы. Рекреационный потенциал морских устьев рек использовался для сохранения природных ресурсов (Дунайский биосферный заповедник, дельта р. Днепр, Черноморский биосферный заповедник), пляжей (устье р. Бельбек, взморье р. Чёрной), яхтинга (Днепровско-Бугский лиман, Севастопольская бухта) и туризма (реки Чёрная, Днепр и Юж. Буг). В 90-х годах прошлого столетия произошло существенное антропогенное воздействие на Березанский лиман и р. Березань. В настоящее время пресная вода разбирается на орошение, и северная часть лимана превращена в водохранилище. Сток всех рек, образующих рассматриваемые устья, в разной степени зарегулирован водохранилищами и другими сооружениями и изымался для хозяйственных нужд. В наибольшей степени регулирование стока рек и водозабор сказались на режиме и качестве воды в морских устьях рек Днепр и Чёрная, в наименьшей – рек Дунай и Юж. Буг. Проблемы и особенности природопользования в устьевых регионах подробно рассмотрены в **Главе 7**.

ГЛАВА 3 СОВРЕМЕННАЯ ГИДРОЛОГО-ГИДРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПОВЫХ МОРСКИХ УСТЬЕВ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ

Важным аспектом изучения морских устьев рек являются гидрологические и гидрофизические особенности их режима, обусловленные как разнотипностью устьев, рассмотренной в **Главе 2**, так и количеством воды, энергии и веществ, поступающих в эти водные объекты из реки и моря. Поэтому, кроме гидрологических характеристик (стока воды, уровня и течений), в данной главе рассматривался режим наносов, температуры воды, сток наносов и тепла, волнение и ледовые условия. Это позволило дать комплексную оценку современного состояния рассматриваемых морских устьев рек, а также проверить правильность полученных результатов на основе балансовых расчётов для Днепровско-Бугского лимана.

3.1 Водный режим

Комплекс физико-географических условий как в бассейнах рек, так и Чёрного моря, формирует водный режим морских устьев рек и обуславливает его общие черты и особенности. Общие черты водного режима морских устьев рек Дунай, Днепр, Юж. Буг, Чёрная и Бельбек заключались в том, что сток воды в рассматриваемый климатический период стабилизировался; его внутригодовая изменчивость была обусловлена сезонными различиями в питании рек и регулированием водохранилищами и прудами; размах годового хода уровня воды от вершин МУР к их устьевым взморьям уменьшался, так как стоковая составляющая уровня воды, по мере распределения потока в устьевых рукавах и растекания в приёмном водоёме, существенно уменьшалась; скорость стоковых течений на устьевых участках рек была наибольшей, у морских границ устьев – наименьшей, при этом она увеличивалась при сужении акваторий, например, в проливах. Однако установлено, что типы водного режима рассматриваемых устьев рек разные.

Основной источник питания рек Дунай, Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец – таяние снега и осадки, формирующие весеннее половодье и паводки. По водному режиму они отнесены к Восточно-Европейскому типу [172]. Реки Чёрная и Бельбек имели паводочный режим стока, преобладало дождевое и смешанное питание. По водному режиму они отнесены к Крымскому типу [172]. Значение подруслового стока этих рек пока не выяснено, его оценка остаётся приближённой (30–300 % от поверхностного стока рек) и зависит от метода расчёта и сезона года. Однако предполагается существенная обводнённость палео-русел.

3.1.1 Сток воды

Устьевые водотоки являлись зоной транзита и трансформации речного стока, который формировался в верхнем и среднем течении рек. Количество поступавшей в устья воды (табл. 3.1) обуславливало водный режим устьев и моря, так как суммарный сток рек Дунай, Днепр, Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Чёрная и Бельбек составлял около 76 % от суммарного стока всех рек бассейна в Чёрное море. Доля стока рек Ингул, Ингулец, Березань и Сосык в суммарном стоке в морское устье была равна 1,2 % (в пределах точности его определения), поэтому в балансовых оценках не учитывалась, как и подрусовой сток крымских рек, величина которого пока точно неизвестна.

Из табл. 3.1 видно, что средний многолетний сток воды в вершинах МУР изменялся в широких пределах и различался в 3600 раз. Его наибольшая изменчивость была характерна для средних и малых рек ($C_v=0,44-0,49$), менее всего был изменчив сток р. Дунай ($C_v = 0,17$).

Таблица 3.1 – Средние многолетние характеристики режима стока в вершинах морских устьев рек северо-западной части Чёрного моря

Характеристика	Морское устье реки				
	Дунай	Днепр	Юж. Буг	Бельбек	Чёрная
период осреднения	1961–2012			1964–2017	1956–2017
расход воды, Q , м ³ /с	6700	1340	95,4	1,97	1,83
наибольший расход воды, м ³ /с	16000	9750	5320	414	105
наименьший расход воды, м ³ /с	1280	11,8	2,60	0	0
сток воды, W , км ³	211	42,3	3,01	0,062	0,058
модуль стока, л/с·км ²	8,20	2,66	1,50	3,90	4,29
слой стока, мм	258	84	47	123	134
коэффициент вариации, C_v	0,17	0,25	0,49	0,47	0,44
коэффициент стока, $K_{\text{стока}}$	0,58	0,19	0,11	0,31	0,33
коэффициент зарегулированности стока рек, %	4	23	6	8	20
коэффициент внутригодовой неравномерности стока	2,0	2,5	3,6	7,2	2,7
повторяемость половодья в вершине устья, %	10	30	76	–	–
многоводный период (месяцы)	III–VII	III–V	II–IV	XII–IV	XII–IV
сток многоводного периода, % от годового	52	34	45	68	58

Наибольшая доля осадков трансформировалась в речной сток в бассейне р. Дунай ($K_{\text{стока}}$ был равен 0,58), наименьшая – в бассейнах рек Днепр и Юж. Буг ($K_{\text{стока}} = 0,11-0,19$). По коэффициенту стока ($K_{\text{стока}}$, табл. 3.1), характеризующему долю осадков, стекавших с водосборов в их устья, выделено 4 группы морских устьев рек: 1) Дунай, 2) Днепр и Юж. Буг, 3) Ингул и Ингулец, 4) Бельбек и Чёрная. Ранее, по условиям формирования водного режима, низовья рек Днепр, Юж. Буг, Ингул, Ингулец относились к однотипным [163].

Очевидно, что сток воды играет существенную роль в формировании водного режима устьевых взморьев. Многие авторы подчёркивали его распределяющее, динамическое и тепловое влияние. На рис. 3.1 показаны зависимости площадей линз («плюмов») распределяемой воды (S , км²) на устьевых взморьях различных рек, полученные по данным контактных и спутниковых наблюдений, от их стока (W , км³). Для построения зависимости $S = f(W)$, представленной на рис. 3.1а (для малых рек восточной части Чёрного моря), использовались данные из работы Завьялова П.О., Маккавеева П.Н., Коновалова Б.В. и др. [107, с. 299]. Аналогичная зависимость (по средним многолетним данным) получена автором для устьевых взморьев северного Причерноморья, рис. 3.1б. Здесь площади «плюмов» малых рек представляют единое «облако точек» в нижней части линии связи. При этом, точки имеют более значительный разброс (хотя этого и не видно на рис. 3.1б из-за выбранного масштаба), чем на рис. 3.1а. Это объясняется тем, что в восточной части моря устья малых рек с открытыми устьевыми взморьями

Рисунок 3.1 – Зависимости площадей линз распределяемой воды (S , км²) от стока рек (W , км³) восточной (а), северо-западной (б) частей Чёрного моря и 20 рек мира (в)

ями и сходными условиями формирования «плюмов» [107; 108], а в северном Причерноморье малые реки – разнотипные (Глава 2, табл. 2.3, с. 62–63), поэтому у них, при прочих равных условиях, площади распределяемых линз на закрытых устьевых взморьях больше, чем на открытых (табл. 2.2, стр. 60). Зависимость $S = f(W)$, представленная на рис. 3.1в, построена, кроме собственных, по литературным данным [107; 109; 354; 381] для 20 рек мира. Для определения максимальной площади «плюмов» при паводочном стоке рек, среднее многолетнее значение S пересчитывалось пропорционально среднему многолетнему значению W . Хотя для получения достоверных связей пока недостаточно натурных данных, эти зависимости (рис. 3.1) свидетельствуют о возможности расчёта площадей и объёмов линз пресных вод, а также

дальности распространения «стокового фронта» [354] по стоку рек.

Расчёт среднего многолетнего стока в устья рек, уточнение их границ и площадей (Глава 2, табл. 2.4, с. 70) – позволили установить связь (3.1) между площадями морских устьев рек северного Причерноморья и нормой стока (в диапазоне стока $0,05 \div 230 \text{ км}^3$):

$$S_{\text{МУР}} = -0,18W^2 + 118 W + 0,1, \quad (3.1)$$

где $S_{\text{МУР}}$ – площадь морского устья реки при среднем многолетнем стоке, км^2 ; W – средний многолетний сток реки в вершине устья за год, км^3 . Корреляционное отношение зависимости 0,98. Для некоторых малых рек северного Причерноморья ошибки расчёта по (3.1) были велики – 50 % и более из-за объединения в один ряд разнотипных устьев (в связи с недостатком данных). Средняя ошибка составила 16 %. Согласно формуле (3.1) суммарная площадь морских устьев рек региона ориентировочно была равна 19 тыс. км^2 , а по непосредственным определениям она была на 14 % больше.

Сток рек в вершинах больших МУР СЗЧМ значимых тенденций за 1961–2012 гг. не имел, в его многолетних рядах преобладали 3–4, 7–9, 11–14-летние циклы. Но, расчёты тенденций показали, что сток Килийского рукава р. Дунай уменьшался, а Тульчинского и Георгиевского рукавов увеличивался в среднем на $22 \text{ м}^3/\text{с}$ в год. Тенденции были обусловлены перераспределением стока р. Дунай в пользу румынских рукавов из-за их углубления, спрямления и водозабора из Тульчинского и Килийского рукавов, осуществляемого по 9 румынским каналам. Также не обнаружены тенденции стока крымских рек за период с 1961 по 2017 г.

Смена фаз водного режима в вершинах МУР отражалась на водном режиме устьевых взморьев. Многоводные периоды наблюдались в разные месяцы, половодье в большинстве лет выделялось только на реках Юж. Буг, Ингул и Ингулец [216, с. 105–110], поэтому в табл. 3.1 для рек Чёрная и Бельбек в строке «повторяемость половодья» проставлен прочерк (–).

Внутригодовое распределение стока воды по гидрологическим сезонам позволило выполнить районирование устьев по водному режиму рек следующим образом: 1) р. Дунай – весенне-летний многоводный период и межень; 2) р. Днепр – равномерное внутригодовое распределение стока; 3) р. Юж. Буг – весеннее половодье, летняя межень, осенне-зимняя межень; 4) р. Ингул и р. Ингулец – весеннее половодье и межень; 5) р. Бельбек и р. Чёрная – зимне-весенние паводки и межень. Степень зарегулированности годового стока рек Днепр и Чёрная – наибольшая (20–23 %), наименее зарегулирован сток рек Дунай и Юж. Буг (4–6 %).

С 1986 г. уменьшился размах внутригодовых колебаний стока р. Днепр у Каховской ГЭС, в многоводный период сток уменьшился на 11–23 %, а в осеннюю межень увеличился на 12–26 %. С 1990 г. сток р. Дунай в устье в период повышенной водности уменьшился на 5–17 % и увеличился в маловодный период на 5–11 %. Это связано с климатическими измене-

ниями, отмеченными в работах [167; 168; 177; 178; 373; 411; 412; 436]. Согласно исследованиям этих авторов, увеличение меженного стока рек СЗЧМ и уменьшение максимальных расходов в период половодья обусловлено увеличением количества осадков в период межени, а также температуры воздуха зимой, что способствовало оттепелям, выпадению жидких осадков и уменьшению высоты снежного покрова. Так как выравнивание внутригодового распределения стока (в последние 35 лет по сравнению с предшествующими годами) отмечалось для большинства рек региона, а также рек Российской Федерации независимо от степени зарегулированности их стока, Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С., Лобода Н.С., Вишневский В.И., Косовец А.А., Хильчевский В.К., Ромась И.М., Гребень В.В. и др. в своих работах сделали обоснованный вывод о том, что этому способствовало изменение климата в бассейнах рек. Однако внутригодовое перераспределение речного стока не отразилось на нормах стока в вершинах устьев большинства рассматриваемых рек. Новые данные о сезонной изменчивости стока рек представлены на рисунке 3.2. Анализ годового хода стока показал, что чем меньше река, тем раньше наблюдались характерные расходы воды: наибольший расход воды рек Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Чёрная и Бельбек отмечался в марте, а рек Дунай и Днепр – в апреле–мае; наименьший расход воды малых рек – в августе–сентябре, а на больших реках – в октябре–сентябре соответственно. Это было обусловлено большей естественной и искусственной зарегулированностью стока крупных рек [123, с. 153; 208; 216, с. 107, 123].

Таким образом, внутри года для р. Дунай были характерны циклические изменения стока со средним периодом 1–1,5 мес.; р. Днепр – попуски из водохранилищ, обеспечивавшие суточное, недельное и сезонное регулирование стока; рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец – непродолжительное половодье (1–1,5 мес.) и относительно устойчивая межень; а рек Бельбек и Чёрная – непродолжительные паводки. Более подробно изменчивость стока устьеобразующих рек рассмотрена в работах автора [123, с. 138–184; 208; 216, с. 106–116; 230].

Распределение стока воды по устьевым рукавам рек Дунай и Днепр рассчитано автором по данным [83], где приводятся материалы по 29 створам в отдельных рукавах. За однородный период наблюдений, с 1996 по 2012 г., средний многолетний сток р. Дунай между рукавами Тульчинский (Румыния) и Килийский (Украина) распределялся следующим образом: в Килийский рукав в среднем поступало около 55 % стока р. Дунай (за 100 % принят сток р. Дунай у г. Рени), в Тульчинский – 45 %. Между Сулинским и Георгиевским рукавами сток воды распределялся в пропорции 20 и 25 % соответственно. Распределение стока по основным устьевым рукавам в Килийской дельте представлено в работе [123, с. 166–177] и близко к распределению, полученному авторами работы [52].

Распределение стока в рукавах р. Днепр за период с 1961 по 2012 г. также принято по [83], где оно рассчитывалось в соответствии с данными работ Гринько Е.С. и Симова В.Г. [85;

316]. Сток распределялся (в процентах от стока р. Днепр у Каховской ГЭС) следующим образом: 15,2 % стока поступало в рук. Конка, 84,8 % – в рук. Забич; 50,3 % стока этого рукава распределялось в рук. Бакай, а 34,5 % – в рук. Рвач. В **Главе 5** показано, что эти результаты требуют уточнения, так как произошли изменения морфологических характеристик отдельных рукавов.

Рисунок 3.2 – Среднее многолетнее распределение стока воды по гидрологическим сезонам (W, %) в вершинах морских устьев рек

3.1.2 Уровень воды

Межгодовые колебания уровня воды были обусловлены изменчивостью суммарного годового стока рек бассейна и колебаниями уровня Мирового океана [61; 62]; внутригодовые – сезонным ходом стока рек; синоптические – сгонно-нагонными явлениями; внутрисуточные – приливами и отливами, сейшами и бризами [213]. На устьевых участках рек на уровень преимущественно оказывал влияние сток рек и подпорные явления, на устьевых взморьях – сгонно-нагонные, приливо-отливные явления, сейши и другие колебания уровня моря.

Абсолютные отметки уровня воды закономерно понижались от вершин устьев к устьевым взморьям, но средние уклоны на устьевых участках рек значительно отличались (**Глава 2**, с. 71). Наименьший уклон был характерен для р. Днепр, наибольший – р. Бельбек. Установ-

лено, что в Бугском лимане преобладал обратный уклон водной поверхности (так как уровень в его устье в основном был выше, чем в вершине), чему пока нет однозначного объяснения [216, с. 129–132]. Для устьевых взморьев характерен и небольшой поперечный уклон. Например, в Днепровско-Бугском лимане он достигал 0,0007 м/км.

Современный средний многолетний уровень устьевых взморьев (от общего нуля графика Чёрного моря, равного -5,00 м БС) был равен: 493 см (р. Дунай), 486 см (рек Днепр и Юж. Буг) 479 см (рек Чёрная и Бельбек), что выше приведенных в работе [62] на 5–11 см, так как в ней осреднение уровня выполнялось за период 1923–1985 гг. На всех постах, расположенных на устьевых взморьях, отмечался рост среднего годового уровня воды со средней скоростью 0,13–0,30 см в год. Эти тенденции в последние 20 лет увеличились до 0,7–1,8 см/год. Вероятно, они обусловлены ростом уровня моря, опусканием суши, а в вершинах морских устьев – её поднятием (так как уровень воды здесь, хотя и незначимо, но уменьшался), уплотнением рыхлых осадочных отложений, просадкой грунта и др. Не исключено, что точность измерения уровня воды в последние годы уменьшилась из-за отсутствия высокоточных нивелировок реперов и реек, невязок при использовании различных высотных систем и других погрешностей наблюдений. Многолетние изменения уровня на устьевых участках рек и в устьевых рукавах повторяли многолетний ход расхода воды в вершинах устьев, а на устьевых взморьях они были идентичны ходу уровня воды северо-западной части Чёрного моря [62; 216, с. 137–138]. Выделялись следующие периоды колебаний уровня: 3,5; 13 и 22 года. Полученные результаты согласуются с выводами работ [61; 62].

Основной отличительной особенностью режима уровня морских устьев рек являлось отмечавшееся несоответствие его изменений в различных частях устья, на что указывали и другие авторы [25; 52; 55; 156]. Например, в вершинах устьев и на устьевых участках рек получены зависимости между средними месячными и средними годовыми значениями уровня и расхода воды, а на устьевых взморьях и в дельтовых водотоках уровень в меньшей степени зависел от расхода, или вообще изменялся синхронно с изменениями уровня моря. Это иллюстрирует рис. 3.3, из которого видно, как трансформировалась зависимость между средним годовым уровнем (H) и расходом (Q) воды, $Q = f(H)$, от вершин МУР Дунай и Днепр по направлению к морю. Зависимости $Q = f(H)$ на отдельных постах претерпели разнонаправленные изменения, обусловленные различными природными и антропогенными факторами, что учитывалось при анализе связей между стоком и уровнем воды [52; 123, с. 197; 216, с. 133]. Полученные результаты согласуются с представленными в работе [52] и подробно проанализированы в работах автора [123, с. 195–201; 208; 216, с. 133–136]. На устьевых взморьях малых рек зависимость $Q = f(H)$ была менее выражена, так как их сток незначителен и мало влиял на

режим уровня взморьев, который в большей степени зависел от стока р. Дунай [61; 62]. Например, связь уровня Севастопольской бухты с расходом воды р. Чёрной имела коэффициент корреляции 0,61 (что показано в работе автора [208]), а уровня в вершине Бугского лимана с суммарным стоком рек Дунай и Юж. Буг – 0,70. Практическое значение представленных на рис. 3.3 зависимостей заключается в том, что по ним можно рассчитывать средний годовой (а по средним месячным зависимостям уровня от стока и среднемесячный) уровень воды по расходу воды в вершинах МУР (и наоборот). По зависимостям $Q = f(H)$ в различных частях устьев установлено, что существенное влияние на уровень оказывали межгодовые (20–50 см) и, особенно, сезонные изменения водоносности рек.

Рисунок 3.3 – Зависимости среднего годового уровня воды (H) на водомерных постах от среднего годового расхода воды (Q) р. Дунай (а) и р. Днепр (б). r – коэффициент корреляции

Внутригодовая изменчивость уровня воды – аналогична сезонным изменениям речного стока и была наиболее выражена в устьевых водотоках. Средний многолетний размах годового хода уровня закономерно увеличивался по направлению от моря к реке и изменялся в морском устье р. Днепр в пределах 20–60 см; р. Юж. Буг – 30–110 см; р. Дунай – 10–210 см; р. Бельбек – 20–320 см; р. Чёрная – 20–130 см [123, с. 195; 208; 216, с. 137].

Наименее всего изменчив во времени средний месячный уровень Днепровско-Бугского лимана и Севастопольской бухты, его отличия от средних многолетних значений составляли 1–2 %, а на устьевом взморье р. Дунай он отличался от средних многолетних значений на 10–50 %. Наибольшая изменчивость уровня воды наблюдалась в МУР в периоды повышенной водности рек. Зарегулирование стока рек Днепр, Чёрная и Юж. Буг сказалось на сезонном ходе уровня воды, он стал менее изменчивым в течение года [213].

Сгонно-нагонные явления (раз в 9–14 суток) вызывали существенные изменения уровня, особенно на границах устьевых взморьев: в вершинах Днепровско-Бугского лимана и Севастопольской бухты, у НГД р. Дунай и у мысов. Наибольший размах уровня воды при сгонно-нагонных явлениях на устьевых взморьях составлял около ± 100 см, причём, повсеместно максимальные нагоны были в 2 раза реже сгонов и на 5–15 см больше, а максимальные

сгоны – на 5–10 см меньше одного м. Нагоны распространялись вверх по УУР, вплоть до вершин устьев. Средние колебания уровня синоптического диапазона составляли 20–30 см. В устье рек Днепра и Юж. Буга также отмечались недельные колебания уровня, со средним размахом 15 см, обусловленные недельным регулированием стока рек [216, с. 145]. На открытых устьевых взморьях рек Дунай и Бельбек сгоны и нагоны вызывали соответствующие этим явлениям изменения уровня, а на устьевых взморьях закрытого типа (Днепровско-Бугский лиман и Севастопольская бухта) эти изменения были более сложны, так как на различные берега таких устьев ветер одного и того же направления действовал по-разному. Например, в Днепровско-Бугском лимане при сгонном восточном ветре уровень восточной и центральной частей лимана уменьшался, а западной – увеличивался из-за недостаточной пропускной способности Кинбурнского пролива, соединяющего лиман с открытой частью устьевого взморья, из-за чего отмечались сейшеобразные колебания, наиболее выраженные у нижней границы дельты р. Днепр.

Сейшевые и бризовые колебания уровня были ограничены в среднем 10–20 см, но иногда, взаимоусиливаясь, они достигали 30–40 см [123, с. 192–210]. В устьях рек СЗЧМ сейшевые колебания имели период около 6, 12 и 24 ч., поэтому некоторые авторы относят низкочастотные колебания уровня к приливам [125], а некоторые – приливы считают сейшеобразными [61, с. 350, 351; 125]. Но спектральный анализ колебаний уровня, выполненный авторами работ [62; 179], свидетельствует о том, что указанная периодичность его изменения имеет приливное (астрономическое и радиационное) происхождение [179].

Наименее изученной частью режима уровня оказались его внутрисуточные колебания, так как анализ лент самописцев уровня – трудоёмкая и непростая задача. В литературных источниках не обнаружен средний суточный ход уровня в устьях рек, а в работе [62, с. 346] он приводится для нескольких постов Чёрного моря за период 1963–1967 гг. Сравнительный анализ внутрисуточной изменчивости уровня устьевых взморьев рек Дунай, Днепр, Юж. Буг и Чёрной показал, что из короткопериодных колебаний уровня воды в течение года доминировали полусуточные и суточные (последние иногда усиливались бризами в тёплый период года), которые выделялись при частотном анализе записей самописцев уровня на всех постах взморьев рек Дуная, Днепра, Юж. Буга и Чёрной (рис. 3.4), как и в работах [62; 179].

Эффект конфузурности, описанный для приливных устьев рек Зыряновым В.Н. и Чебановой М.К. в работе [113], по-видимому, отмечается и в устье рек Днепр и Юж. Буг, которое в литературных источниках считается бесприливным. Средняя многолетняя амплитуда внутрисуточных колебаний уровня воды закономерно возрастала к вершинам Днепровского и Бугского лиманов в среднем вдвое.

Внутрисуточные колебания уровня генерировались приливами-отливами и являлись комбинацией суточной и полусуточной волн, распространявшихся с запада на восток [62, с. 352]. Ранее всего, в 10 ч., максимальный уровень наблюдался на взморье р. Дунай, затем (в 12–13 ч.) – в Севастопольской бухте и на взморье р. Бельбек, в 15 ч. волна подъёма уровня достигала района г. Хорлы [62], а через 3 часа (в 18 ч.) – г. Одессы [62] и Кинбурнского пролива Днепровско-Бугского лимана и в 21–22 ч. максимальный подъём уровня распространялся

Рисунок 3.4 – Суточная изменчивость уровня воды (H , см) в морских устьях рек СЗЧМ

в вершины лиманов, где он усиливался сбросами ГЭС. В это время на устьевом взморье р. Дунай отмечался второй, меньший максимум. Очевидно, для открытых устьевых взморьев характерна полусуточная (обусловленная астрономическими факторами), а для закрытых суточная (обусловленная радиационными приливами и сейшами) изменчивость уровня воды. Полученные результаты согласуются с выводами авторов работ [60; 62; 125; 179; 341; 342] о наличии выраженной полусуточной и суточной изменчивости уровня Чёрного моря. Превалирование суточных колебаний уровня в Севастопольской бухте над полусуточными объясняется в работе Медведева И.П., Куликова Е.А. [179] расположением узловой точки полусуточной амфидромии в центральной части Чёрного моря. Краткосрочные колебания уровня воды в Севастопольской бухте (20–40 см) и на устьевом участке р. Чёрной (200–300 см) отмечались во время паводков, когда осуществлялся сброс воды из Чернореченского водохранилища и сток реки увеличивался в течение суток в 5–10 раз [208].

В устье рек Днепр и Юж. Буг, в отличие от других устьев, суточные колебания уровня были характерны и для устьевых водотоков. Они обусловлены не только изменением уровня лимана, но и сбросами Каховской ГЭС, хотя в вершине лимана связи $H=f(Q)$ между средними суточными значениями уровня и расхода воды не обнаружено [86]. В нижнем бьефе Каховской ГЭС максимальный сброс и уровень обычно были приурочены к 20–22 ч., а с 23 ч. сбросы, скорость течения и уровень уменьшались (суточное регулирование стока). Интерференция волны попуска и прилива вызывала увеличение уровня в вершинах лиманов в 21 час, а затем его падение. Ежедневно суточное регулирование стока р. Днепр интегрировалось с недельным. Неравномерная работа агрегатов ГЭС вызывала изменения уровня УУР на 1–3 м, что являлось причиной распространения длинных волн в нижнем бьефе, перемещавшихся со скоростью до 10 м/с [156]. На постах также несинхронно отмечался минимум уровня воды (рис. 3.4): ранее всего он фиксировался на взморье р. Дунай (2–3 ч.), на устьевом участке и в устьевых рукавах р. Днепр (4–6 ч.), затем (в 9–10 ч.) – в Днепровском лимане, в Бугском лимане минимум наблюдался с 7 до 11 ч., а в Севастопольской бухте – в 20–21 ч. Средний суточный размах уровня в Днепровском лимане составлял 3–5 см, в северной части Бугского лимана и у нижней границы дельты р. Днепр – около 6–8 см, в устьевых рукавах р. Днепр – 14 см и в районе г. Новая Каховка – 25–30 см [213]. В морском устье р. Дунай средний суточный размах уровня на разных постах изменялся в пределах 1–15 см, на устьевых взморьях малых рек Крыма – 2 см (однако, в отдельных случаях, он достигал 25 см).

В Бугском лимане и Севастопольской бухте преобладали суточные колебания уровня (рис. 3.4), обусловленные их внутриматериковым расположением и «долинной» конфигурацией. В холодный период года в Бугском лимане приливы, размахом 5–10 см, имели полусуточный характер, а летом бризы трансформировали их в суточные (до 20–30 см), усиливая подъём уровня с 12 до 21 ч., и уменьшая его в первой половине дня. В незамерзающей, далеко вдающейся в сушу, Севастопольской бухте приливы были слабо выражены [62, с. 351], но бризы оказывали влияние на колебания уровня. Превышение второго пика подъёма уровня в Днепровском лимане над первым (рис. 3.4), очевидно, также связано с морским бризом.

Таким образом, во всех МУР на сезонный ход уровня, обусловленный стоком рек, 1–3 раза в месяц накладывались стгонно-нагонные колебания (а в низовьях р. Днепр и недельные). Суточная изменчивость уровня носила приливно-бризовый, а полусуточная – приливно-сейшевый характер. Вывод о незначительном влиянии ежечасных изменений стока рек на изменения уровня устьевых взморьев, полученный автором, использован при разработке метода расчёта обмена через проливы [189; 190; 222], что рассмотрено в **Главе 6, разделе 6.3**.

Во всех устьях рек краткосрочные колебания уровня тесно связаны с преобладающими течениями на устьевых взморьях [61; 62; 123, с. 202; 125; 179; 207; 208; 216, с. 144].

3.1.3 Течения

Новый подход (Глава 1, стр. 17, 18) к систематизации течений (в отличие от более ранних исследователей [55; 156; 176; 240; 246; 298; 299; 318; 327; 328; 329], акцентировавших внимание на отдельных ветровых ситуациях), позволил выделить преобладающие течения, т.е. получить климатические характеристики динамики вод в рассматриваемых устьях [207].

На устьевых участках рек и прилегающих частях взморьев преобладали стоковые, в

Рисунок 3.5 – Схема преобладающих течений в поверхностном (а) и придонном (б) слоях воды на взморье Килийского рукава р. Дунай

поверхностном слое устьевых взморьев – градиентные и ветровые, в придонном – компенсационно-градиентные течения [325; 327]. Приводимые схемы течений (рис. 3.5–3.7) характеризуют средние многолетние условия их формирования под действием преобладающих ветров, прямого уклона водной поверхности взморьев вдоль их оси, обусловленного стоком, и градиента плотности. В результате совместного влияния всех факторов развивался двухслойный поток: в поверхностном слое воды течения преимущественно были направлены к морю, в придонном – к реке. Это характерно для всех типов устьевых взморьев [134; 261; 322; 324; 325; 390; 398]. В водоёмах, расположенных в дельтах, течения вызывал ветер и изменения атмосферного давления, в проточных – также наблюдались стоковые течения.

Анализ изменчивости направления и скорости течений на многосерийных станциях и АБС на взморьях рек Дунай, Днепр и Бельбек (рис. 1.2–1.4) показал, что на фоне постоянных, медленно изменявшихся, стоковых течений отмечались полусуточные, суточные и синоптические изменения направления суммарных течений. Внутрисуточные изменения уровня, показанные на рис. 3.4, согласовывались с динамикой вод на устьевых взморьях разного типа: активизация течений, направленных от моря к реке (с опережением на 0,5–1 ч.), соответствовала росту уровня, а падению уровня – течения, направленные в сторону моря. Это согласуется

с выводами работ [86; 233; 324; 325] и результатами, приводимыми в диссертации Чебановой М.К. для эстуария р. Кемь. При половодье, паводках и сгонах схема не изменялась, усиливались течения, направленные к морю (а иногда и компенсационные). При нагонах циркуляция воды изменялась на противоположную – поверхностные течения были направлены к реке, а придонные – к морю. При сильных сгонах и нагонах (менее 5 % случаев в год) устанавливался однонаправленный поток.

Рисунок 3.6 – Схема преобладающих течений на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг в поверхностном (а) и придонном (б) слоях воды

Строение устьевое взморья отражалось на характере преобладавших течений. На открытых приглубых устьевых взморьях рек Дунай и Бельбек (рис. 3.5, 3.7) превалировали течения, направленные на юг, юго-запад, юго-юго-запад (р. Дунай) и запад, юго-запад (р. Бельбек). Стоковые течения здесь быстро затухали, так как ветер, волнение и течения на шельфе СЗЧМ способствовали этому процессу. Отмелое устьевое взморье закрытого типа (Днепровско-Бугский лиман) речные воды проходили транзитом, при этом генеральное направление переноса совпадало с направлением уклона водной поверхности, создаваемого комплексом гидрометеорологических факторов.

Спецификой течений в лимане являлся перенос воды из Днепровского лимана в Бугский через Сакенский пролив, их соединяющий (рис. 3.6). Течения в Днепровском лимане и Севастопольской бухте, направленные к морю (в среднем преобладавшие в поверхностном пятиметровом слое воды [216, с. 147–153]), при прочих равных условиях, распространялись на большие расстояния, чем на открытых взморьях рек Дунай и Бельбек, так как берега, являясь естественным продолжением речных долин, препятствовали растеканию речных струй, и течения на этих взморьях сохраняли генеральное направление вдоль основной струи речного потока. Следовательно, влияние стока на поверхностный слой воды (при прочих равных условиях) на открытом устьевом взморье было меньше, чем при наличии закрытой части взморья в структуре устья. В узостях закрытых устьевых взморьев скорость течения увеличи-

валась (рис. 3.6, 3.7), поток был прямолинейным, а в местах расширений – формировались местные замкнутые циркуляции (рис. 3.6).

Рисунок 3.7 – Схема преобладающих течений в поверхностном (а) и придонном (б) слоях воды устьевых взморьев рек Бельбек и Чёрная

Средняя скорость течения в морских устьях рек Дунай, Днепр и Юж. Буг изменялась в одинаковых пределах: в поверхностном слое устьевых взморьев она составляла 0,20 м/с, в придонном – 0,10 (р. Дунай) – 0,15 м/с (р. Днепр). В Севастопольской бухте и на взморье р. Бельбек средняя скорость течения была равна 0,10 м/с. Эти различия обусловлены разной величиной вклада стока рек в стоковые течения. В водотоках скорость течения ещё больше зависела от стока рек – она составляла 0,20–0,40 (реки Чёрная и Бельбек) и 0,50–0,70 м/с (в основных рукавах рек Дунай и Днепр). Максимальная скорость течения на УУР достигала 1,50–2,50 м/с, на устьевых взморьях малых рек – 0,70, больших – 1,50 м/с. Вертикальные эпюры течений наиболее сложный вид имели в судоходном Днепробугском канале, иногда здесь наблюдались значительные скорости течений, превышавшие средние многолетние значения в 1,5–2 и более раз [156, с. 134; 207; 216, с. 150–161]. Анализ экстремумов сделан в Главе 5.

3.1.4 Баланс воды Днепровско-Бугского лимана и водные ресурсы Севастопольского региона

Важной предпосылкой рационального природопользования, соблюдения принципов устойчивого развития устьевых регионов, является правильная оценка водного баланса и водных ресурсов [3]. Недостаток данных наблюдений пока не позволил рассчитать водный баланс всех рассматриваемых морских устьев рек. Рассчитана только основная приходная составляющая – сток рек (табл. 3.1).

Практические запросы в устьевых регионах различные, поэтому использовались раз-

ные балансовые оценки. Например, в Днепро-Бугском устьевом регионе приоритетное значение имело сохранение рыболовства в Днепро-Бугском лимане и качества его воды в условиях возрастающей антропогенной нагрузки, поэтому оценка водного баланса Днепро-Бугского лимана выполнялась с учётом основных составляющих обмена с реками, морем и атмосферой. В Бельбекско-Чернореченском устьевом регионе на первом плане были проблемы рационального водопользования и дефицита пресной воды, а рыбохозяйственное значение устьевых взморьев имело второстепенное значение (Глава 7, с. 311–316), поэтому здесь была сделана оценка водных ресурсов Севастопольского региона.

Несмотря на то, что балансовые оценки пока являются приближёнными [3; 305], с их помощью удалось определить, какие составляющие оказывали основное влияние на закрытое устьевое взморье (Днепро-Бугский лиман), уточнить современные составляющие водохозяйственного баланса территории г. Севастополя, и, в первом приближении, на основе полученных результатов, наметить пути усовершенствования природопользования в этих устьевых регионах (Глава 7, с. 304–316).

Некоторые оценки среднего годового водного баланса Днепро-Бугского лимана приведены в табл. 3.2. и в работе автора [220]. Здесь представлены, в хронологическом порядке, противоречивые результаты авторов, занимавшихся определением балансовых составляющих, полученные за разные периоды различными методами, проанализированными в [216, с. 162–167; 220]. Причём, существенные расхождения (на 30–60 %) имеются в расчётах, выполненных даже одними и теми же авторами [258; 315; 320]. Если результаты оценок осадков и испарения у авторов идентичны, то составляющие водообмена через Кинбурнский пролив имеют наибольшие расхождения (табл. 3.2), ввиду сложности их расчёта.

При суммарном стоке рек, равном $45,8 \text{ км}^3$, и потерях при водообмене с атмосферой в объёме $0,50 \text{ км}^3$, в среднем за год в лиман через пролив поступало $13,6 \text{ км}^3$, а из лимана в открытую часть устьевого взморья – $59,0 \text{ км}^3$. Невязка баланса (минус $0,1 \text{ км}^3$) около 3 % от среднего объёма лимана, обусловлена недоучётом склонового стока, притока подземных и сточных вод и погрешностями расчёта. Рассчитанные величины водного баланса, приведенные в табл. 3.2, хорошо согласуются с данными Журавлёвой Л.А. [105] и Копайгородского Е.М. [152], использовавших для определения значений водообмена другой подход – совместное решение уравнений водного и солевого балансов. Сравнение результатов расчёта современного водообмена с данными [152], полученными Копайгородским Е.М. для периода естественного режима стока рек, а также с его прогнозом водообмена после сооружения водохранилищ, свидетельствует о достоверности полученных результатов, так как уменьшение годового стока рек, обусловленное его зарегулированием и безвозвратными изъятиями, снижение ветровой активности, повышение уровня Чёрного моря [62] – закономерно способствова-

ли некоторому уменьшению прямого и увеличению обратного потока через Кинбурнский пролив [216, с. 163]. Правильность полученных автором результатов также подтверждается более поздними расчётами водообмена для среднего по водности 1991 г., приведенными в работе [320] и в табл. 3.2, в которой результаты меньше на 5–9 % средних многолетних величин, т.е. лежат в пределах точности определения рассматриваемых характеристик.

Таблица 3.2 – Составляющие баланса воды Днепровско-Бугского лимана

Приходная часть, км ³			Расходная часть, км ³	
сток рек	осадки	поток из моря в лиман	поток из лимана в море	испарение
Копайгородский Е.М., 1892–1927 гг. [152]				
55,1	0,36	10,7	65,5	0,70
–	–	14,5	69,4	–
Слатинский Ю.Г., 1920–1960 гг. [328], 1956–1970 гг. [329]				
55,7	0,32	46,5	97,4	0,87
47,4		43,0	98,0	
Костяницын М.Н., 1945–1960 гг. [156]				
59,1	0,32	45,4	103,9	0,87
59,1	0,32	43,8	102,4	0,87
Розенгурт М.Ш., Толмазин Д.М., 1958–1970 гг. [299]				
47,8	–	22,0	72,0	–
Большаков В.С., 1948–1960 гг., 1970 г. [32]				
55,0	0,34	26,0	79,0	0,66
Журавлёва Л.А., 1955–1980 гг. [105]				
45,1	0,32	10,1	54,3	0,84
Симов В.Г., Репетин Л.Н., 1950–1969 гг. [315]				
44,6	–	22,0	72,0	–
Симов В.Г. и др., 1956–1986 гг. [258]				
46,9	–	28,8	75,2	–
Тимченко В.М., 1943–1985 [94]				
46,3	0,37	41,0	85,6	0,80
Тимченко В.М., 1956–1986 гг. [341; 342]				
46,0	0,37	40,7	86,3	0,80
Миньковская Р.Я., 1961–2012 гг. [216; 222]				
45,8	0,34	13,6	59,0	0,84
Симов В.Г., Морозов В.Н., Фомина И.Н., 1965–1971, 1985–2004 [320]				
46,0	–	12,4	55,7	–

На основе натурных данных уточнены составляющие водообмена между Бугским и Днепровским лиманами через Сакенский пролив. Ранее полученные Симовым В.Г. и Черёминой Р.П. результаты [318], приводимые в [123, с. 744], были некорректными: в среднем прямой поток был равен 24,7 км³, обратный – 16,0 км³. Результирующая составляющая, направленная в Днепровский лиман, была равна 8,7 км³ и превышала сумму приходных составляющих на 5,5 км³. Следовательно, невязка водного баланса Бугского лимана составляла 6,3 км³ [318]. Избыток вытекавшей из Бугского лимана воды над поступающей в него (составлявший 33 %

от прихода в лиман) авторы объяснили поступлением стока р. Днепр и морских вод в Бугский лиман, что не убедительно. Новые сведения о водообмене в Сакенском проливе свидетельствуют о том, что в среднем за год из южной части Бугского лимана в Днепровский поступало $48,2 \text{ км}^3/\text{год}$, а в обратном направлении – $45,3 \text{ км}^3/\text{год}$. При этом приходная часть баланса составляла $48,9 \text{ км}^3/\text{год}$, расходная – $49,0 \text{ км}^3/\text{год}$. Таким образом, невязка была уменьшена до минус $0,1 \text{ км}^3/\text{год}$. Установлено, что водообмен в створе м. Сакен характеризовал не столько водообмен между граничащими лиманами, сколько особенности устойчивой циркуляции вод, отмечавшейся в этом районе Днепровско-Бугского лимана [207; 216, с. 166–167], и обмен Днепровского лимана с южной частью Бугского лимана. Для получения более достоверных величин притока и оттока воды в Бугский лиман целесообразно определять водообмен на границе между южной и центральной частями Бугского лимана (рис. 1.7), а не в створе мыса Сакен.

Результаты оценки составляющих водного и водохозяйственного балансов Севастопольского региона за период зарегулированного стока рек представлены в табл. 3.3 и в работах автора [210; 210; 276]. В Севастопольском регионе основными поверхностными источниками воды являлись реки Чёрная, Бельбек и Кача, около 40 прудов и 5 водохранилищ. Суммарный средний за многолетний период объём пресных поверхностных вод региона в средние по водности годы составлял 225 млн. м^3 . С учётом водозабора из различных источников водные ресурсы оценены в 170–175 млн. м^3 , из которых к поверхностным водным ресурсам региона можно отнести около 80–85 млн. м^3 , так как не вся пресная вода, в соответствии с требованиями природоохраны [44], может быть использована для нужд водообеспечения. Средняя годовая потребность региона в воде для водоснабжения оценена водохозяйственными организациями в пределах 60,5–160 млн. $\text{м}^3/\text{год}$ [103]. Учитывая современное состояние развития региона (сокращение промышленного и сельскохозяйственного производства) среднюю годовую потребность в воде можно оценить приблизительно в 80 млн. м^3 . Составляющими баланса воды являлись и сбросы сточных вод, равные в среднем 52,1 млн. м^3 . Кроме того, имели место значительные транспортные потери, утечки (28,5 млн. м^3), из-за неудовлетворительного состояния систем водоснабжения и водоотведения, неучтённое водопользование. Это приводило к снижению качества водообеспечения г. Севастополя, нерациональному использованию водных ресурсов в Бельбекско-Чернореченском регионе.

Таким образом, в средние по водности и многоводные годы используемых водных ресурсов хватало для удовлетворения нужд населения и хозяйства. Однако в засушливые периоды года, при дефиците осадков, высокой температуре воздуха и увеличении числа отдыхающих, возникал дефицит пресной воды, который в маловодные годы, повторяющиеся с цикличностью 7–12, 22 года [208], иногда достигал 30 млн. м^3 . Дефицит водообеспечения в засушливые годы сказывался на социально-экономическом развитии и экологическом состоянии Се-

востопольского региона, являлся одной из основных проблем [124; 198; 199; 210; 221].

Таблица 3.3 – Средний годовой водный баланс, водные ресурсы Севастопольского региона и их использование в период зарегулированного стока рек

Составляющая водного баланса	Млн. м ³ /год
осадки на территорию региона	432
суммарное испарение	375
валовое увлажнение (инфильтрация)	242
приход воды в Чернореченское водохранилище	50,8
расход воды из Чернореченского водохранилища	50,0
общая подача воды потребителям без учёта стока между водохранилищем и водозабором	43,1
общая подача воды потребителям с учётом стока между водохранилищем и водозабором	48,1
водозабор из р. Чёрной, включая водохранилище	60,6
сброс отобранной воды	32,1
сток р. Чёрной у с. Хмельницкое	57,5
сток р. Бельбек у с. Фруктовое	61,7
сток р. Кача у с. Суворово	35,0
суммарный сток рек	154
объём воды в прудах региона	7,3
объём воды в 4-х водохранилищах региона (без учёта Чернореченского)	6,0–10,5
искусственное пополнение подземных вод	5,0
забор поверхностных вод	49,3
забор подземных вод	15,9
забор морских вод	15,4
общий водозабор	80,6
водоотведение	52,1
транспортные потери и безвозвратные изъятия	28,5

3.2 Режим наносов

3.2.1 Мутность воды

Поступление наносов в МУР является одним из основных факторов устьеобразования, влияющим на гидрологические характеристики. Поэтому сделана современная оценка средней годовой мутности воды (табл. 3.4) и проанализированы связи между расходом воды и мутностью, $\rho_{\text{ср}} = f(Q)$, для некоторых устьевых участков рек. Выявленные особенности в сроках формирования максимального стока и максимального смыва, размыва были обусловлены различиями в процессах разрушения пород, эрозии почв, перемещения наносов, что и приводило к

совпадению или несовпадению изменений во времени мутности и расхода воды [123, с. 267–277; 216].

Для устьевых участков рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец в современный период зарегулированного речного стока максимальный расход воды и максимальная мутность отмечались одновременно, в марте. Связи между значениями средней месячной мутности воды ($\rho_{\text{ср}}$, г/м³) и расхода воды (Q , м³/с) – тесные (коэффициенты корреляции были равны 0,92–0,99) и представлены следующими зависимостями для рек Юж. Буг (3.2), Ингул (3.3) и Ингулец (3.4):

$$\rho_{\text{ср}} = 1,77Q - 89,9 \quad \text{при } Q \geq 50,8 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.2)$$

$$\rho_{\text{ср}} = 10,1Q + 3,50, \quad (3.3)$$

$$\rho_{\text{ср}} = 6,60Q + 38,0. \quad (3.4)$$

Такие зависимости характерны только для указанных устьев, в водном режиме которых выделялось половодье, когда с водой притоков поступало 60–90 % наносов. Для остальных рек зависимости носили сложный петлеобразный характер, что связано с особенностями поступления наносов в реки [123, с. 272; 208]. Аналогичные зависимости представлены в работе Milliman J.D., Katherine L. Farnsworth [415, с. 25] для разных рек мира.

Устьевые участки морских устьев рек типизированы по мутности воды и её зависимости от стока. Прозрачная вода (мутность воды не превышала 50 г/м³) характерна для рек Днепр, Чёрная и Юж. Буг. Остальные рассматриваемые реки в вершинах устьев имели среднюю мутность воды, которая не превышала 150 г/м³. В воде всех рек, кроме р. Днепр, преобладали минеральные частицы [98; 341; 372; 373].

Установлено [123, с. 271], что в период 1992–2012 гг. мутность р. Дунай на её устьевом участке уменьшилась в 2 раза (95 г/м³) по сравнению с предшествующим периодом (194 г/м³). Учитывая, что расход воды р. Дунай не имел значимых тенденций в период с 1961 г. по 2012 г., тренд в колебаниях мутности воды вызван изменением антропогенной деятельности – прекращением дноуглубительных работ в устьевых рукавах, сокращением судоходства по Килийскому рукаву, а также снижением уровня хозяйственной деятельности в регионе. В последние годы возобновилось судоходство в украинской части р. Дунай; Молдавией и ЕС осуществлено строительство нефтеналивного и зернового терминалов, грузового и пассажирского порта в с. Джурджулешты, в связи с чем мутность воды несколько увеличилась, чему также способствовал повышенный сток реки в 2005–2006 гг. Средняя мутность р. Юж. Буг после сооружения водохранилищ уменьшилась в 5–6 раз. В период с 1938 г. по 1980 г. она была равна 230 г/м³, а в настоящее время – 36 г/м³. После сооружения Счастливенского водохранилища на р. Манатотра (приток р. Бельбек) мутность воды р. Бельбек уменьшилась в 5 раз. Отсюда сле-

дует, что мутность воды существенно зависела от антропогенных факторов, а природные факторы в среднем тенденций не имели.

Таблица 3.4 – Средняя годовая мутность воды устьевых участков рек (г/м³)

Характеристика	Устьевой участок реки						
	Дунай	Днепр	Юж. Буг	Ингул	Ингулец	Бельбек	Чёрная
средняя	95 ^{*)}	20	36 ^{**)}	120	130	103	24
наибольшая	271	155	1340	600	760	259	45
наименьшая	61	2	10	6	4	26	5
СКО	60	–	–	–	–	54	13
размах	210	153	1330	590	756	233	39

Примечания

1. ^{*)} – Средняя мутность воды р. Дунай за однородный период 1992–2012 гг., за период 1961–1991 гг. она была равна 194 г/м³.

2. ^{**)} – Средняя мутность воды р. Юж. Буг за период 1989–2012 гг., за период 1961–1989 гг. она составляла 56 г/м³, а в 1938–1980 гг. – 230 г/м³.

Мутность воды устьевых взморьев недостаточно изучена, но отдельные натурные данные свидетельствовали об её неоднородности (в разных частях МУР она отличалась на порядок и более). На приглубых участках взморьев максимальная мутность воды обычно наблюдалась в поверхностном слое, а на отмелях – в 60–70 % случаев у дна. Мутность в слое скачка плотности также отличалась повышенными значениями. Её вертикальный градиент иногда достигал 5–25 г/м³ на метр. В половодье мутность увеличивалась до 5000–9000 г/м³. В межень, при штиле и маловетрии, вода устьевых взморьев имела мутность 1–12 г/м³, но ветро-волновая активность вызывала взмучивание донных осадков на мелководьях, и мутность воды становилась больше, чем в реках в 2–3 раза. Характерной особенностью разнотипных устьевых взморьев было формирование областей повышенной мутности в диапазоне солёности воды 1–8 ‰, в зоне распреснения. Это подтверждает выводы, ранее полученные Гордеевым В.В. [69], Лисицыным А.П. [166], Larras J. [409] и др. о том, что динамика вод и сложные биогеохимические процессы (коагуляция, флокуляция и др.) способствуют повышению мутности устьевых взморьев, в верхних частях которых образуется так называемая «мутевая пробка» [166] в этом же диапазоне солёности воды (Глава 6, рис. 6.19).

Факторами повышения мутности воды устьевых взморьев, кроме ветрового взмучивания донных отложений, апвеллинга и разрушения слоя скачка плотности, также являлись течения и фитопланктон. Если мелководные участки взморьев, места депонирования наносов, были источником их поступления в воду при ветро-волновом перемешивании, то при половодье и паводках, особенно в сужениях и проливах закрытых устьевых взморьев, скорость течения иногда увеличивалась до 1 м/с и более (Глава 5, рис. 5.7), что приводило к размыву дна и берегов. Сток галофобного речного планктона (особенно р. Днепр [372]) способствовал по-

ступлению и накоплению на устьевых взморьях органических останков, которые также увеличивали мутность воды. Мутность рек Дунай и Бельбек была больше мутности приглубых частей их взморьев, куда свободно поступала менее мутная морская вода.

Кроме мутности воды исследовалась изменчивость прозрачности, цвета воды и гранулометрического состава наносов в морских устьях рек разного типа. Результаты анализа распределения прозрачности воды на устьевых взморьях в современный период подробно изложены в работах авторов [123, с. 268–289; 208; 216, с. 168–183].

3.2.2 Донные отложения

Кроме поступления наносов с речным стоком важным фактором наносонакопления на устьевых взморьях являлись вдольбереговой транспорт наносов и продукты разрушения берегов (абразия, эрозия, смыв). Локальное влияние на формирование донных отложений оказывал дампинг грунтов и расчистка русел, каналов, забор песка, гальки и гравия, а также другие виды хозяйственной деятельности. Многофакторность процессов формирования донных отложений устьевых взморьев отражалась на их составе и распределении, которое получено по обобщённым данным наблюдений различных организаций [19; 33; 94; 123, с. 262, 282–293; 328] в разные периоды.

Схема распределения донных отложений (рис. 3.8), построенная на основе материалов эпизодических наблюдений Новикова Б.И., Миронова О.Г., Шнюкова Е.Ф., Маслакова Н.А., Слатинского Ю.Г. и Судаковой Ю.П. [18, 19, 328], отражает особенности осадконакопления в активном слое приёмных водоёмов, обусловленные взаимодействием речных и морских факторов. На устьевых взморьях преобладала аккумуляция выносимых рекой взвешенных наносов, отложение и переотложение влекомых в придонном слое частиц различного генезиса.

В составе активного слоя донных отложений всех устьевых взморьев (который, согласно [19], для песков принят равным 10 см, для илов – 30 см) преобладали песчанистые и глинистые илы, обычно они занимали более 50 % площади дна. Пески, или пески с примесью ракушки залегали в прибрежной части (рис. 3.8). При этом встречался ракушняк как морского, так и пресноводного типа. По особенностям распределения донных отложений в устьях выделены характерные районы: устьевые участки рек, дельты, устьевые взморья.

Зональность в распределении донных отложений аналогична показанной в работах [155; 245; 375; 387; 409; 418; 421; 428; 430]), поскольку процессы осадконакопления довольно длительные и формирующиеся на дне структуры относительно консервативны. В прибрежной зоне всех устьев преобладал материал абразии или размыва берегов, затем располагались пылеватые и илистые пески, к которым примыкали песчаные и глинистые илы. За ними, морис-

тее, следовали илы пелитовые и алевроито-пелитовые, а на морской границе устья обнаруживались фазеолиновые алевроито-пелитовые илы. Различие в распределении донных осадков на

Рисунок 3.8 – Схема распределения донных отложений на устьевых взморьях разнотипных морских устьев рек

1 – пески; 2 – песчано-алевритовые осадки, местами с примесью гравия, ракушки; 3 – ракушняк и крупнозернистые осадки; 4 – илы песчанистые и пески илистые; 5 – илы пелитовые и алевроито-пелитовые; 6 – ракушняк с примесью илов; 7 – фазеолиновые алевроито-пелитовые илы

открытых и закрытых устьевых взморьях заключалось в наличии ракушняка с крупнозернистыми осадками в проливах, соединяющих Днепровско-Бугский лиман и Севастопольскую бухту с морем (рис. 3.8), в то время как на открытом взморье р. Дунай ракушняк залегал в илах. Очевидно из-за увеличения скорости течения в проливах активизировался размыв, а также волновое волнение и ледовая экзарация (например, в Кинбурнском проливе) способствовали разрушению кос и берегов. Не исключено влияние антропогенного фактора, поскольку в западной части Днепровского лимана в XIX в. был сооружён искусственный остров Первомайский, а в устье Севастопольской бухты – молы, сужающие вход в неё с моря. На распределение донных отложений также оказывал влияние дампинг грунта. Особенности седиментационных процессов в МУР, показанные в работах Лисицына А.П. [166] и Гордеева В.В. [68, 69], хорошо согласуются с представленной схемой донных отложений (рис. 3.8).

Распределение донных отложений использовалось как вспомогательный материал для обоснования зонирования МУР, выделения зон преобладающего влияния различных факторов, оценки осадконакопления [216].

3.2.3 Сток наносов

Сток наносов, приходная составляющая баланса наносов, прямо пропорционален водности рек, что очевидно из таблиц 3.1, 3.5.

Тенденции стока наносов в разных морских устьях рек – разнонаправлены и были обусловлены изменениями мутности воды из-за разного уровня хозяйственной деятельности. С 1992 г. сток наносов р. Дунай сначала стабилизировался на низком уровне, затем начал увеличиваться, что объясняется прекращением дночерпания для поддержания судоходных глубин, а затем его возобновлением и многоводностью ряда лет. С 1989 г. отмечалось уменьшение стока наносов р. Юж. Буг. Причины были те же, что и на р. Дунай: снижение хозяйственного потенциала. Поступление наносов в устье р. Бельбек увеличивалось. Это связано с возрастанием степени освоения естественно-затапливаемых пойменных земель, изменением растительного покрова, отсутствием противоэрозионных мероприятий.

Получены зависимости стока наносов (R_n , кг/с) от расхода воды (Q , м³/с) и, в ряде случаев, при отсутствии наблюдений за мутностью воды, сток наносов может быть приближённо оценен по ним. Например, для расчёта среднего годового расхода наносов р. Чёрной, в пределах изменения среднего годового расхода воды от 0,74 до 4,70 м³/с и расхода наносов от 0,005 до 0,40 кг/с, зависимость $R_n = f(Q)$, имела коэффициент корреляции 0,82 и вид

$$R_n = 0,097Q - 0,063. \quad (3.5)$$

Годовой сток наносов наиболее тесно был связан со стоком воды р. Дунай (коэффициент связи наибольший и равен 0,85). Но такая тесная зависимость между рассматриваемыми элементами режима отмечалась только в период с 1992 по 2012 г. Установлено, что для тех рек, в бассейнах которых осуществлялась сельскохозяйственная деятельность (Юж. Буг, Бельбек) и сток которых не столь существенен, как р. Дунай, зависимость расхода наносов от расхода воды была менее тесная (коэффициент корреляции имел значения 0,67–0,69). Это связано с тем, что кроме речного стока, наносы поступали и из других источников, что подробно рассмотрено в работах автора [123, с. 255–312; 208; 216, с. 168–189].

Таблица 3.5 – Характеристика годового расхода и стока взвешенных наносов

Река	Расход наносов, кг/с			Размах ($R_{\text{н макс}} - R_{\text{н мин}}$) / коэффициент неравномерности стока наносов ($R_{\text{н макс}} / R_{\text{н мин}}$)	Сток наносов, млн. тонн в год	Модуль стока наносов, т/км ²
	средний, $R_{\text{н сред}}$	наибольший, $R_{\text{н макс}}$	наименьший, $R_{\text{н мин}}$			
Дунай ^{*)}	1200	2700	275	2425 / 9,8	37,8	46,7
	707	1200	393	807 / 3,1	22,2	27,5
Днепр	26,8	350	0,40	350 / 875	0,85	1,8
Юж. Буг ^{**)}	21,9	170	0,70	169 / 243	0,69	14,9
	3,4	—	—	—	0,10	2,2
Ингул	1,0	8,70	0,026	8,7 / 335	0,03	4,5
Ингулец	1,0	13,0	0,021	13,0 / 619	0,03	3,4
Бельбек	0,96	3,74	0,07	3,67 / 53	0,03	112
Чёрная	0,10	0,80	0,005	0,79 / 160	0,003	9,2

Примечания

1. ^{*)} – Средний расход и сток наносов приведен за 1961–1991 гг. (числитель) и 1992–2012 гг. (знаменатель).
2. ^{**)} – Средний расход и сток наносов приведен за 1961–1988 гг. (числитель) и 1989–2012 гг. (знаменатель).

Зависимости среднего месячного расхода наносов от расхода воды в морских устьях рек различного типа существенно отличались, но коэффициенты корреляции таких связей были высоки и составляли 0,86–0,99. Например, для рек Ингул и Ингулец она была близка к линейной, для р. Юж. Буг – к полиномиальной (3.6), для малых рек Крыма – к логарифмической, а для р. Дунай – имела петлеобразный вид (по тем же причинам, которые влияли на связь мутности и расхода воды). Для расчёта среднего месячного расхода наносов р. Юж. Буг ($R_{\text{н}}$, кг/с), при отсутствии данных наблюдений за мутностью, получена его зависимость от расхода воды (Q , м³/с) этой реки у пгт Александровка (корреляционное отношение 0,99):

$$R_{\text{н}} = 10^{-6}Q^3 + 0,0004Q^2 - 0,26Q + 0,35. \quad (3.6)$$

Связь стока наносов со стоком воды была характерна для всех рек рассматриваемого региона. Также были получены зависимости среднего многолетнего стока наносов в вершинах МУР (R_n) от площади их речных водосборов (F) для бассейнов рек Чёрного моря со сходными условиями формирования стока воды и наносов (для чего было выделено 6 характерных районов). Аналогичные зависимости приводятся в работах Долгополовой Е.Н. (для 5 рек) и D. Milliman, Katherine L. Farnsworth [415, с. 25, 38–40] для 50 рек мира, и они близка к линейным. Для 17 малых рек северо-западной части Чёрного моря, бассейны которых имели идентичные уклоны, слагающие породы, залесённость, распаханность и прочие характеристики, получена зависимость $R_n = f(F)$, представленная на рис. 3.9. Корреляционное отношение этой

Рисунок 3.9 – Зависимость стока наносов (R_n , тыс. т/год) от площади водосбора (F , км²) малых рек северо-западной части Чёрного моря

зависимости равно 0,98, а оценить сток наносов (R_n) по площади водосбора (F) для малых рек рассматриваемого региона можно по формуле (3.7)

$$R_n = 0,16F^{0,89}. \quad (3.7)$$

Учитывая, что приемлемым маркером для определения границ линз пресной воды по высокоразрешающим спутниковым изображениям может быть её мутность, что наглядно показано в работе Осадчиева А.А. и Завьялова П.О. [256], существует возможность, с использованием спутниковых изображений, а также зависимостей $R_n = f(Q)$ и $R_n = f(F)$, определять сток наносов неизученных или малоизученных рек. Однако дефицит данных натурных наблюдений пока являлся основной причиной недостаточной изученности этого вопроса, поэтому оценка стока наносов в приёмный водоём, приведенная в табл. 3.5, была приближённой. Более точные

результаты удалось получить только для р. Дунай за 1992–2012 гг., когда произошло заиливание рук. Прорва, что способствовало перераспределению стока наносов в пользу Соединительного канала порта Усть-Дунайск [30].

Модуль стока наносов, характеризующий сток наносов с единицы площади водосбора

Рисунок 3.10 – Модуль стока наносов (т/км² в год) в вершинах морских устьев рек

за определённое время (рис. 3.10), может служить классификационным признаком, так как он отражает особенности смыва и транспорта наносов в вершины различных морских устьев рек [415]. С каждого километра площади бассейна р. Бельбек в среднем за год поступало наибольшее количество наносов, поэтому, при близких значениях стока рек Бельбек и Чёрная,

сток наносов р. Бельбек был на порядок больше, чем р. Чёрной (табл. 3.5). Это было обусловлено особенностями размыва пород и природопользования (Глава 5) в бассейнах этих рек.

3.2.4 Баланс наносов Днепровско-Бугского лимана

Оценка баланса наносов в современный период выполнялась только для Днепровско-Бугского лимана. Из-за недостатка данных наблюдений и отсутствия надёжных расчётных методов, результаты оценки составляющих баланса наносов (табл. 3.6), полученные в соответствии с методиками, приведенными в работах [98; 341; 342], были приближёнными.

Основными приходными составляющими баланса наносов являлись их поступление при разрушении берегов, смыве, с речным стоком и образование твёрдого вещества в Днепровско-Бугском лимане, расходными – отложение наносов и их вынос из лимана. Твёрдые частицы также попадали на поверхность воды в период пыльных бурь, которые были почти ежегодно [216, с. 99]. При водообмене Днепровско-Бугского лимана с прилегающей частью взморья большее количество наносов выносилось, а поступала в лиман ¼ часть суммарного переноса наносов через Кинбурнский пролив. Рассчитанная приходная составляющая баланса наносов согласуется с результатами, приведенными в работе [98]. Исходя из полученных данных (табл. 2.6), распределения донных отложений (рис. 3.8) и расчёта осадконакопления по рекомендациям, изложенным в работах [98; 105], средний слой осаждавшихся за год осадков составлял около 0,6–0,7 см (исключая судоходный канал). Это меньше, чем оценки авторов

[98] по Каховскому водохранилищу (0,8 см/год), но больше, чем в работе [88], где скорость седиментации в Днепровско-Бугском лимане определялась радиоуглеродным методом (0,07 см/год). Эти результаты имеют научное и практическое значение. По толщине слоя осадков в Днепровско-Бугском лимане, накопленных за тысячелетия, можно приближённо оценить возраст лимана и его возможную эволюцию в будущем. Вариант такой оценки приводится в работах автора [216; 218].

Таблица 3.6 – Составляющие среднего годового баланса взвешенных наносов Днепровско-Бугского лимана, млн. т

Приходная часть		Расходная часть	
аллохтонное вещество	1,17	вынос из лимана	0,34
автохтонное вещество	3,90	отложение наносов	4,70
Всего	5,07	Всего	5,04

Учесть эоловый перенос, смыл с берега, хемогенную сорбцию-десорбцию, а также антропогенную составляющую баланса, пока не представляется возможным. Как влияло проникновение солёной воды на режим наносов в этом устье рек практически не исследовано.

Антропогенная составляющая баланса наносов включала их поступление: при сбросах сточных вод, из нецентрализованных источников, при расчистке и обваловании русел, реконструкции каналов, дампинге, канало- и портостроении, берегоукреплении, подсыпке пляжей, заборе песка и гальки, сбросах ГЭС и др. В результате хозяйственной деятельности в устье рек Днепр и Юж. Буг, не столько изменялся баланс наносов, сколько, очевидно, происходило их перераспределение по акватории. Содержание наносов в воде лимана изменялось в пределах 0,03–2,6 млн. т. Для остальных морских устьев рек оценена только приходная составляющая баланса наносов – их поступление на устьевые участки рек (табл. 3.5).

3.3 Температура воды

3.3.1 Изменчивость температуры воды

Температура воды – важный экологический фактор. Сильный прогрев мелководий, озёр и застойных зон МУР неоднократно способствовал заморным явлениям в устьях рек Днепр, Юж. Буг и Дунай [215; 216, с. 294–502]. Изменчивость температуры воды в различных морских устьях рек имела как общие черты, так и особенности (рис. 3.11), обусловленные морфометрией устьевых взморьев, теплообменом с атмосферой, рекой и морем [190].

Речная вода была в среднем на 0,5–2,5 °С холоднее воды устьевых взморьев (рис. 3.11). Средняя годовая температура воды изменялась от 11,5 °С (реки Днепр и Юж. Буг) до 13,0 °С (р. Дунай). Размах температуры воды, SKO и C_v в различных морских устьях рек имели близкие значения: 2,2–2,8 °С, 0,6–0,7 °С и 0,05 соответственно. Выявлены различия в распределе-

нии температуры на устьевых взморьях, зависящие от стадии температурного режима (нагрев, охлаждение). Поэтому анализ выполнялся не только в годовом масштабе (рис. 3.11), но и в сезонном [123, с. 345–356; 190; 208; 216, с. 211–213]. Как показано в работах автора, распределение изотерм зависело от речного стока [216, с. 224, рис. 4.13] – чем он был больше, тем мористее распространялось тепловое влияние рек (при прочих равных условиях).

Рисунок 3.11 – Распределение средней годовой температуры поверхностного слоя воды в морских устьях рек Дунай (а), Днепр и Юж. Буг (б), Чёрная (в)

На открытом устьевом взморье р. Дунай наиболее однородное распределение температуры поверхностного слоя воды было характерно для лета и осени, когда её размах (по горизонтали) составлял $2\text{ }^{\circ}\text{C}$; на закрытом устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг – летом и зимой, когда температура воды в среднем изменялась по акватории взморья в пределах $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если в Днепровско-Бугском лимане зимой обычно отмечались ледовые явления (изолирующие водную поверхность от влияния атмосферы) и устанавливалась близкая к гомотермии температурная стратификация, то на устьевом взморье р. Дунай в этот период распределение изотерм было более контрастным, так как ледовые явления здесь наблюдались довольно редко. Во все сезоны года на устьевых взморьях рек Чёрная и Бельбек, в среднем, изменчивость температуры воды была несущественной – горизонтальные градиенты температуры воды составляли $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и менее. Только в акваториях взморьев, прилегающих к устьевым участкам рек, пространственная изменчивость температуры была больше чем на УУР и более мористых участках взморьев, что обусловлено тепловым влиянием речного стока и фронтогенезом.

Средний вертикальный градиент температуры воды на устьевых взморьях крымских рек составлял $0,16\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$; на взморье р. Дунай – $0,13$ (на мелководье, до 10 м) и $0,27\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ (на глубоководных станциях, $25\text{--}40\text{ м}$ глубиной); в мелководных частях Днепровско-Бугского лимана – $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$, в районе судоходного канала – $0,33\text{--}0,50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$. Максимальные вертикальные градиенты достигали существенных величин: $0,67\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ на взморье р. Дунай (до $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ в слое скачка) и $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ в Кинбурнском проливе в прорези канала (а в слое скачка до $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$). Наиболее выражена температурная стратификация была на приглубом взморье р. Дунай, так как здесь теплообмен между поверхностным и придонным слоями был более затруднен, чем в Днепровско-Бугском лимане или Севастопольской бухте. Иногда на взморье р. Дунай отмечалось 2 слоя скачка, на горизонтах $5\text{--}10\text{ м}$ и $20\text{--}22\text{ м}$ [123, с. 666]. Наименее стратифицированная по температуре водная масса присуща устьевым взморьям рек Крыма из-за незначительного влияния стока тепла, интенсивного перемешивания, отсутствия выраженного слоя скачка температуры.

Многолетние изменения средней годовой температуры воды преимущественно имели 3–4, 7, и 11-летнюю периодичность, что свидетельствовало об их гелиофизической природе [69; 190]. Отрицательные тенденции, отмеченные в статье [266], не подтверждает анализ данных о температуре воды в прибрежной части моря и устьях рек СЗЧМ. Средняя годовая температура воды в 1961–2012 гг. на некоторых постах увеличивалась на $0,01\text{--}0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ в год (особенно заметно, начиная с 1986 г.), что не всегда согласовывалось с ходом температуры воздуха, которая в основном стабилизировалась и даже уменьшалась (согласование было только на посту в г. Измаил). Так, с 90-х годов прошлого века на $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ увеличивалась средняя годовая разность между температурой воды и воздуха ($T_w - T_a$) в устье р. Днепр при неизменной сред-

ней температуре воздуха [216, с. 196]. Повышение температуры воды было обусловлено маловодностью в период максимального прогрева (в 70 % лет была низкая межень в июле–августе) и уменьшением сбросов более холодной воды из Каховского водохранилища с января по май. В то же время, понижение температуры воздуха, отмечавшееся с сентября по декабрь, не уменьшило температуру воды лимана из-за увеличения сбросов воды в этот период, увеличивших его теплозапас. В [70] также показано, что на южном побережье Чёрного моря в 1940–1985 гг. отмечались аналогичные тенденции межгодовой разницы температур вода–воздух, и минимуму солнечной активности соответствовали максимальные разницы температур. Причины таких изменений не исследованы.

Пределы значений средней месячной и экстремальной температуры воды на водомерных постах и на глубоководных станциях показаны в табл. 3.7. Наибольший прогрев, до 37–38 °С, отмечался в озёрах, в дельтах рек Дунай и Днепр, а также на Кинбурнской косе, переохла-

Таблица 3.7 – Температура воды на водомерных постах и измеренная в период океанографических съёмок на устьевых взморьях рек

Горизонт	Устье реки		
	Дунай	Днепр и Юж. Буг	Чёрная
Диапазон средней месячной температуры воды на постах, °С			
поверхность	от минус 0,7 до 26,5	от минус 0,1 до 27,3	от 1,7 до 26,3
Коэффициент вариации, C_v			
поверхность	от 0,06 до 0,77	от 0,05 до 1,36	от 0,06 до 0,14
Минимальная и максимальная температура воды на постах, °С			
поверхность	минус 1,1; 32,8	минус 0,9; 31,6	0,0; 29,4
Диапазон температуры воды на глубоководных станциях съёмки, °С			
в точке измерений	от минус 0,2 до 28,5	от 0,4 до 31,0	от 1,5 до 26,4
Коэффициент вариации, C_v			
в точке измерений	0,48	0,31	0,41

Примечание – C_v – Коэффициент вариации температуры воды на станциях океанографических съёмок рассчитан по всему объёму устьевого взморья.

ждение воды ниже 0,0 °С – на устьевом взморье р. Дунай и в открытой части устьевого взморья рек Днепр и Юж. Буг. Как видно из табл. 3.7, наибольшая изменчивость средней месячной температуры воды была характерна для устьев рек Северо-западного района, наименьшая – для устьев Крымского климатического района, что обусловлено не только их расположением, но и тем, что в Северо-западном районе в большей степени сказывалось тепловое влияние рек Дуная и Днепра. Размах сезонного хода температуры воды в различных частях устьев рек в среднем составлял: 21–24 °С (р. Дунай), 18–23 °С (реки Днепр и Юж. Буг), 12–17 °С (реки Чёрная и Бельбек).

Синоптические процессы в атмосфере (периодичностью 9–14 дней) вызывали колебания температуры воды в пределах 2–5 °С, а иногда и до 10 °С (особенно на устьевом взморье р. Дунай при сгонах). При сгонах–нагонах горизонтальные градиенты температуры на устьевых взморьях рек Дунай, Чёрная и Бельбек достигали 1–2 °С/км, в Днепровско-Бугском лимане – 2–5 °С/км.

Для устья рек Днепр и Юж. Буг была характерна недельная изменчивость температуры воды, обусловленная работой каскада ГЭС [123, с. 327–328, 342–344; 216, с. 205]. Сбросы из Каховского водохранилища сказывались на температуре воды устьевого участка р. Днепр и восточной части Днепровского лимана, изменяя суточный ход температуры на 3–5 °С. Смена направления потока через Кинбурнский пролив изменяла суточный ход температуры воды в западной части Днепровского лимана и в районе судоходного канала [216, с. 204], зачастую на 10 °С и более.

При отсутствии сгонно-нагонных явлений суточный размах температуры воды в устьях рек был в пределах 1–2 °С, а в Севастопольской бухте и на взморье р. Бельбек – обычно не превышал 1 °С. При адвекции или апвеллинге на устьевых взморьях размах суточного хода увеличивался до 3–5 градусов, а в судоходном канале Днепровско-Бугского лимана даже незначительное смещение галоклина иногда приводило к изменению температуры воды в течение нескольких часов на 15–18 °С. На глубоководных станциях суточный ход температуры воды иногда был разнонаправлен из-за сложной динамики вод [123, с. 342; 216, с. 204, 206].

3.3.2 Сток тепла

Одним из основных факторов изменчивости температуры воды, как показано автором в работах [123, с. 356; 190; 216, с. 217], являлся сток тепла устьеобразующих рек. Результаты расчёта стока тепла (по общепринятой формуле [254]) за период с 1961 по 2012 гг. приведены в табл. 3.8. При сопоставлении изменений составляющих стока тепла (температуры, стока или расхода воды) больших рек оказалось, что основной составляющей стока тепла в их устьях для разных временных периодов являлся сток воды. Зависимости, связывавшие эти величины, имели высокие корреляционные отношения (0,85–0,98) и были получены по выборкам за 50 лет. Например, для зимнего периода (3.8) и года (3.9) установлены удовлетворительные связи между стоком тепла р. Днепр за зиму или год ($\Theta_{\text{Дн-зим}}$, $\Theta_{\text{Дн-год}}$, 10^{15} Дж) и соответствующим стоком ($W_{\text{зим}}$, км³) или расходом ($Q_{\text{год}}$, м³/с) воды в створе Каховской ГЭС, имевшие вид:

$$\Theta_{\text{Дн-зим}} = 1,14 W_{\text{зим}}^{1,70}, \quad (3.8)$$

$$\Theta_{\text{Дн-год}} = 1,3 Q_{\text{год}}^{1,02}. \quad (3.9)$$

Следовательно, по зависимостям $\Theta = f(Q, W)$ можно рассчитывать возможные изменения стока тепла, располагая прогнозом стока воды, что имеет практическое значение и ранее использовано автором в работе [190] для расчёта изменения температуры воды в устьях больших рек при различных вариантах изъятий их стока.

Значимых тенденций годовой сток тепла в вершинах МУР за период 1961–2012 гг. не

Таблица 3.8 – Сток тепла в вершинах МУР СЗЧМ

Устье реки	Сток тепла, 10^{15} Дж
Дунай	11950
Днепр, Юж.Буг, Ингул, Ингулец	2200
Бельбек	2,3
Чёрная	2,5

имел (несмотря на обнаружение значимого положительного тренда температуры воды в водотоках рек Днепр и Дунай), так как основной его составляющей являлся сток воды. Но, в по-

следние 25 лет его значения увеличивались, хотя тенденции пока не были значимыми. Увеличение стока тепла рек (если бы такое отмечалось) не могло бы привести к уменьшению температуры СЗЧМ, как написано в [266], поскольку кроме увеличения теплозапаса взморьев сток оказывает распресняющий эффект, при котором температура замерзания повышалась бы и переохлаждение воды взморьев в зимний период отмечалось бы реже.

Годовой сток тепла в современный период изменялся в пределах: 20 % (р. Дунай), 25 % (р. Днепр), 30 % (р. Юж. Буг) и 40 % (р. Бельбек, р. Чёрная) от соответствующих средних многолетних значений. Наибольший вес в изменчивости стока тепла внутри года играли сезонные изменения стока воды и температуры. Максимальная изменчивость стока тепла на всех реках отмечалась в зимний период, что было связано с неустойчивым температурным режимом атмосферы (частой сменой оттепелей и похолоданий), зимними паводками, неравномерностью сбросов воды из водохранилищ.

3.3.3 Баланс тепла Днепровско-Бугского лимана

Балансовые исследования морских устьев рек позволили не только получить новые знания о тепловых процессах (Глава 5), но и использовать их для решения практических задач, связанных с прогнозом возможных изменений теплового и ледового режимов [19; 190]. Основные составляющие, обуславливавшие режим температуры воды МУР, представлены уравнением баланса тепла в соответствии с работами [62; 254; 305] в следующей редакции автора:

$$\pm \Delta \Theta_{вз} = \Theta_R \pm \Theta_T \pm \Theta_{эф} \pm \Theta_{ис} \pm \Theta_{ос} \pm \Theta_{л} \pm \Theta_{дно} \pm \Theta_{гр} \pm \Theta_{ант} \pm \Theta_{бх} + \Theta_{дин} + \Theta_p + \Theta_{обр} + \Theta_{бер} - \Theta_{пр}. \quad (3.10)$$

Здесь Θ_R – приход тепла за счёт поглощения водой прямой солнечной радиации; Θ_T – турбулентный теплообмен с атмосферой; $\Theta_{эф}$ – тепло за счёт эффективного излучения, рассчитанное

как разность между тепловым излучением воды и встречным излучением атмосферы. Изменение теплозапаса устьевого взморья, $\pm \Delta \Theta_{вз}$, также происходило в результате теплообмена: $\Theta_{ис}$ – при испарении или конденсации; $\Theta_{ос}$ – при выпадении осадков (жидких и твёрдых, имевших различную температуру, в том числе и ниже нуля, что требовало затрат тепла на таяние твёрдых осадков); $\Theta_{л}$ – за счёт ледообразования или ледотаяния; $\Theta_{дно}$ – с ложем; $\Theta_{гр}$ – с грунтовыми водами; $\Theta_{ант}$ – за счёт антропогенного влияния на водный объект; $\Theta_{бх}$ – при биохимических процессах, протекавших в водной среде. Приходную часть баланса тепла составляли: $\Theta_{дин}$ – приход тепла при диссипации механической энергии (переходе механической энергии в тепловую); $\Theta_{р}$ – поступление тепла с речными водами (сток тепла); $\Theta_{обр}$ – приток тепла с обратным потоком; $\Theta_{бер}$ – тепло, поступавшее с берега (временные водотоки, смыв). Потери тепла также происходили за счёт его оттока с прямым потоком $\Theta_{пр}$. При этом имелось в виду, что приходные части баланса тепла ($\Theta_{р}$, $\Theta_{обр}$ и $\Theta_{бер}$) в данной редакции характеризовали поступление тепла в приёмный водный объект с рекой $\Theta_{р}$, обратным потоком $\Theta_{обр}$ и при береговом смыве $\Theta_{бер}$, а не количество тепловой энергии, переданное водной массе в процессе контактного взаимодействия (смешения и теплообмена).

В настоящее время рассчитать баланс тепла для всех рассматриваемых морских устьев рек целиком пока затруднительно из-за недостатка данных. Поэтому приводятся результаты расчёта годового баланса тепла только для Днепровско-Бугского лимана ($\pm \Delta \Theta_{лим}$), полученные как средние за период с 1961 г. по 2012 г. Оценивалось только количество тепла, проходившее через пограничные сечения Днепровско-Бугского лимана: с реками ($\Theta_{р}$), открытой частью устьевого взморья ($\Theta_{обр}$, $\Theta_{пр}$) и атмосферой ($\Theta_{а}$). Теплопередача и другие виды теплового взаимодействия в лимане не оценивались. Теплообмен с атмосферой ($\pm \Theta_{а}$) рассчитан по методикам, предлагавшимся многими авторами и изложенным в работах [62; 190; 310]. Выбор методик обусловлен желанием сопоставить полученные результаты с приводимыми в работе [62] сведениями, где рассчитывался баланс тепла Чёрного моря. Так как теплообмен за счёт атмосферных осадков составлял менее $\pm 1\%$ от величины $\Theta_{р}$, составляющая $\Theta_{ос}$ не учитывалась, $\Theta_{л}$ рассчитывалась для зимнего сезона. Предполагалось, что в среднем за год остальные составляющие компенсировались или были несущественными. Поэтому уравнение (3.10) было упрощено:

$$\pm \Delta \Theta_{лим} = \pm \Theta_{а} + \Theta_{р} + \Theta_{обр} - \Theta_{пр}. \quad (3.11)$$

Значимых тенденций в изменении $\Theta_{а}$ не обнаружено, потому что, несмотря на увеличение разности между температурой воды и воздуха, отмеченной в последние годы, скорость ветра уменьшалась [216, с. 91–93]. В результате снижения ветровой активности уменьшение

турбулентного теплообмена сбалансировало возможное увеличение этой составляющей из-за роста температуры воды и способствовало снижению роли теплообмена за счёт испарения и конденсации. В то же время, уменьшение сбросов Каховской ГЭС (наблюдавшееся с 1986 г.) в период нагрева и их увеличение в период охлаждения способствовало повышению температуры воды, так как р. Днепр осенью отепляла, а весной охлаждала лиман.

Водная составляющая стока тепла принималась по данным автора [216, с. 107]. Средняя температура для определения прямого потока тепла ($\Theta_{\text{пр}}$) через Кинбурнский пролив, соединяющий Днепровско-Бугский лиман с морем, рассчитывалась как средняя взвешенная в верхнем слое воды, преимущественно перемещающейся из лимана в море, обратного ($\Theta_{\text{обр}}$) – в слое, где преобладали обратные течения [216, с. 146–161]. Поэтому в величинах переноса тепла через пролив имеются расхождения с ранее полученными в работе [216, с. 230] результатами, когда адвективный теплообмен рассчитывался непосредственно по измеренным расходам тепла в Кинбурнском проливе. Из-за неоднородности температуры воды по глубине средняя температура воды (T_w) определялась по слоям и для всего лимана как средняя взвешенная:

$$T_w = \frac{\sum \bar{t}_k w_k}{W}. \quad (3.12)$$

Здесь $\bar{t}_k$ – средняя температура воды k -того слоя, рассчитанная как средняя арифметическая из значений температуры воды на каждой i -той станции данного слоя, °С; w_k , W – объём воды каждого слоя и лимана в целом при среднем многолетнем значении уровня воды, км³.

В результате теплообмена лимана (объёмом W) с пограничными средами изменялось теплосодержание водной массы ($\Theta_{\text{лим}}$, Дж), которое оценено по формуле (3.13), приведенной в [254], и составляло $157 \cdot 10^{15}$ Дж.

$$\Theta_{\text{лим}} = c \rho W T_w, \quad (3.13)$$

где c – удельная теплоёмкость воды, Дж/кг·град.; ρ – плотность воды, кг/м³; T_w – средняя взвешенная температура воды, рассчитанная по формуле (2.11), °С.

Результаты расчёта баланса тепла приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9 – Составляющие баланса тепла Днепровско-Бугского лимана

Приходная часть, 10^{15} Дж		Расходная часть, 10^{15} Дж	
сток тепла рек	2220	сток из лимана	2860
приток в лиман	670	результатирующая теплообмена с атмосферой	25
Всего	2890	Всего	2885

Очевидно, что основную роль в балансе тепла лимана играл сток тепла рек и вынос тепла из лимана в прилегающую открытую часть устьевого взморья (рис. 2.6, стр. 67).

Невязка среднего многолетнего значения баланса тепла Днепровско-Бугского лимана ($\Delta\theta_{\text{лим}}$) составляла менее 1% от его приходно-расходной части и включала неучтённые составляющие (3.10), а также погрешности расчёта. Приведенная оценка баланса тепла выполнялась традиционными методами [62; 254; 305], без учёта утилизации стока тепла в лимане, как рекомендовано в работе Лупачёва Ю.В. [170]. Ошибки при недоучёте контактного теплообмена рассмотрены в **Главе 6** при оценке теплового влияния стока на устьевые взморья разного типа.

3.4 Ледовые условия

Общие черты климата Причерноморья (**Глава 2**, с. 71, 72) проявлялись в преобладании неустойчивых ледовых явлений во всех рассматриваемых морских устьях рек. Однако ледовые условия в МУР Северо-Западного климатического района были более суровыми, чем в устьях рек Крымского района, где лёд появлялся редко. Бугский лиман, и особенно его северная часть, в зимнее время обычно замерзал (вероятность появления льда 100 %). Лёд почти ежегодно появлялся в водоёмах устья р. Дунай – пресных лимано-озёрах левобережья, замерзали мелководья Днепровского лимана. Напротив, вероятность ледообразования в устьях рек Чёрная и Бельбек была около 5 %, т.е. лёд появлялся здесь раз в 15–20 лет.

Одним из основных факторов, обуславливавших ледовый режим, являлась суровость зимы. До настоящего времени в гидрометеорологических обобщениях [15; 60–62] применялись критерии суровости, основанные на суммах отрицательных среднесуточных температур воздуха за ледовый сезон, разработанные Сироткиной А.И. и Теодоровичем А.А. для СЗЧМ по рядам наблюдений до середины прошлого века, т.е. для более холодного климатического периода [143; 306], что не учитывалось в работах [60–62]. Эти критерии устарели и не приемлемы для устьев рек Дунай и Днепр, а тем более, рек Крыма. Поэтому критерии суровости зим по сумме отрицательных среднесуточных температур воздуха за ледовый сезон уточнены для периода с 1961 г. по 2012 г. (табл. 3.10) по метеостанциям, расположенным в МУР.

Таблица 3.10 – Типизация ледового сезона в морских устьях рек СЗЧМ

Тип зимы	Критерий суровости зимы по сумме отрицательных среднесуточных температур воздуха (ΣT , °C)		
	Северо-западная часть Чёрного моря (по типизации Сироткиной А.И. [61])	Дунай (по предлагаемой автором типизации)	Днепр и Южный Буг
суровая	> 400	≥ 250	≥ 385
умеренная	200 – 400	120 – 250	185 – 385
мягкая	< 200	≤ 120	≤ 185

Уточнение критериев суровости позволило достовернее оценить количество суровых, умеренных и мягких зим в современный климатический период и установить, что ледовые условия стали умеренными в 56 % случаев, а число суровых и мягких зим уменьшилось до 22 % соответственно (ранее их было по 25 % ледовых сезонов [190]). Так как сумма отрицательных средних суточных температур воздуха (ΣT) в Северо-Западном климатическом районе значимых тенденций не имела [123, с. 465–467; 216, с. 301–303], увеличению доли умеренных зим, очевидно, способствовало отепляющее влияние прудов и водохранилищ, регулирование стока, обусловившее увеличение стока тепла в зимний период, рост уровня моря.

Основное внимание при изучении ледового режима устьев уделялось датам начала и окончания ледовых явлений, их продолжительности, толщине льда и ледовитости. Также изучался дрейф и торошение льда на устьевых взморьях, ледоход и шугоход в устьевых водотоках, условия ледового плавания, текстура, структура, солёность льда и др. [123, с. 461–504; 190; 216, с. 317, 323–325, 330–336]. В связи с многокомпонентностью устьев, а именно – наличием водотоков, пресноводных и солёных водоёмов, плавней, болот и др., возникла необходимость применения для исследования ледовых условий речных, морских, озёрных методик наблюдений. Поэтому использовалась терминология, рекомендованная в [282], а также предложенная автором в Методических рекомендациях [209], являющаяся более универсальной. В соответствии с уточнёнными критериями суровости получены схемы распределения льда на устьевых взморьях больших рек в зимы различной суровости в современный климатический период (рис. 3.12). В результате выполненного исследования выделены три характерных по ледовым условиям типа МУР, отличавшиеся вероятностью ледовых явлений, их продолжительностью, сроками наступления ледовых фаз и другими характеристиками ледового режима:

1. Вероятность льда 100 % в зимы любой суровости. Средняя продолжительность ледовых явлений более 1 месяца на устьевом участке реки и в открытой части устьевого взморья. В прибрежных частях устьевого взморья продолжительность ледовых явлений превышает 2 месяца. К этому типу отнесено устье рек Днепр и Юж. Буг.

2. С неустойчивыми ледовыми явлениями, отмечавшимися в 75–80 % зим, что характерно для устья р. Дунай. Здесь число дней с ледовыми явлениями в водотоках, а также на устьевом взморье, было меньше 1 месяца, в пресноводных водоёмах – более 2-х месяцев.

3. Ледовые явления отмечались редко, вероятность появления льда не превышала 5–10 %. Продолжительность ледовых явлений составляла несколько дней, что было типично для морских устьев крымских рек.

Основные характеристики ледового режима представлены в табл. 3.11. Они были неоднородны, даты появления и исчезновения льда существенно разнились по акватории.

Рисунок 3.12 – Ледовитость и средняя толщина льда на взморье Килийского рукава р. Дунай и в Днепровско-Бугском лимане в суровые (а), умеренные (б) и мягкие (в) зимы
1 – неподвижный лёд; 2 – плавающий лёд; 3 – лёд с проталинами, полыньями, разводьями и трещинами; 4 – толщина льда (см); 5 – чистая вода

Значительные отличия в ледовом режиме были и между устьями: в Днепровско-Бугском лимане лёд в суровые и умеренные зимы являлся препятствием для судоходства, а устьевые взморья крымских рек практически не замерзали. Поэтому сведения о ледовых явлениях в устьях рек Бельбек и Чёрная не помещены в табл. 3.11.

В Северо-Западном климатическом районе в первой декаде декабря лёд появлялся в пресноводных придельтовых и дельтовых водоёмах в устье р. Дунай и в Бугском лимане, во второй декаде декабря замерзали мелководья Днепровского лимана. В конце декабря – начале января на взморьях появлялся припай, а в устьевых водотоках устанавливался ледостав.

Сбросы из водохранилищ оказывали отепляющее влияние на нижний бьеф Каховского водохранилища [190], поэтому здесь появление льда и замерзание отмечалось позже всего, а зачастую, лёд не образовывался, чему способствовали не только попуски Каховской ГЭС, но

и ледакольные работы. Сток р. Дунай также влиял на ледообразование. Например, его увеличение в феврале в 10 раз (при прочих равных условиях) изменяло ледовые условия устьевоего взморья с суровых на мягкие [190].

Таблица 3.11 – Основные характеристики ледового режима в устьях больших рек

Пункт ледовых наблюдений – водный объект	Дата первого появления льда	Дата первого полного замерзания	Дата окончательного исчезновения льда	Число суток с ледовыми явлениями / сплошным неподвижным льдом	Наибольшая толщина льда, см
Устье рек Днепр и Юж. Буг					
г. Херсон – р. Днепр	11.01	17.01	26.02	34 / 9	60
с. Касперовка – рук. Рвач	29.12	11.01	01.03	45 / 23	34
г. Николаев – Бугский лим.	19.12	26.12	10.03	71 / 43	54
с. Парутино – Бугский лим.	21.12	31.12	01.03	59 / 37	56
с. Станислав – Днепровский лим.	13.12	02.01	04.03	61 / 29	62
с. Геройское – Днепровский лим.	14.12	22.12	08.03	70 / 55	52
г. Очаков – Днепровский лим.	26.12	08.01	06.03	57 / 10	50
г. Очаков – открытая часть взморья	29.12	–	03.03	45 / 0	48
Устье р. Дунай					
г. Рени – р. Дунай	14.01	20.01	11.02	23 / 14	38
г. Измаил – рук. Кикийский	13.01	21.01	10.02	22 / 21	53
г. Вилково – рук. Кикийский	14.01	21.01	11.02	23 / 16	60
рп. Прорва – рук. Прорва	16.01	21.01	16.02	23 / 16	–
с. Нагорное – оз. Кагул	10.12	18.12	01.03	67 / 59	40
с. Коса – оз. Ялпук	09.12	26.12	11.03	80 / 59	60
с. Кислица – оз. Катлабук	04.12	15.12	09.03	84 / 71	45
с. Червонный Яр – оз. Китай	07.12	15.12	10.03	81 / 70	39
с. Приморское – взморье рук. Кикийского	10.01	22.01	20.02	26 / 16	51

Примечание – Толщина льда не измерялась (–) в 70 % сезонов и более.

Окончательное очищение ото льда отмечалось в конце февраля – начале марта. Число дней со льдом варьировало в среднем в пределах 25–85 суток, со сплошным неподвижным льдом – изменялось от 0 до 70 суток. Изменчивость средней (из максимальных за зиму значений) толщины льда показана на рис. 3.12, максимальная толщина льда достигала 1 м, а в торосистых образованиях и навалах льда на берега – нескольких метров. В устьях рек Дунай, Чёрная и Бельбек толщина льда обычно не измерялась из-за неустойчивости ледяного покрова. Значимых тенденций в изменчивости основных характеристик ледового режима не выявлено, за исключением водомерных постов, где пункты ледовых наблюдений переносились (г. Николаев, с. Геройское).

3.5 Волнение

Процессы развития, стабилизации и затухания ветрового волнения на устьевых взморьях открытого типа идентичны морским, а в мелководных лиманах и бухтах – озёрным. Кроме ветра на режим волнения и элементы волн оказывали влияние морфометрические особенности отдельных районов устьев, малые глубины и значительная их изменчивость по пути разгона волн, стоковые и другие виды течений, колебания уровня воды, зарастаемость мелководий, ледовые образования, молы, причалы и другие сооружения, прочие факторы. Всё это и воздействие ветра на глубоко вдающиеся в сушу, стеснённые мысами и косами, мелководные акватории, сформировало специфические поля волнения, что позволило морские устья рек отнести к особым районам, в отличие от более ранних исследователей этого вопроса [62], относивших эти водные объекты (по типу волнения) к Северо-Западному району Чёрного моря.

По типу, форме волн, их происхождению и степени волнения в морских устьях рек выделено по 2–4 характерных подрайона: 1) устьевые участки рек, рукава рек Днепр и Дунай; 2) озёра; 3) Днепровско-Бугский лиман и Севастопольская бухта; 4) открытые части устьевых взморьев рек.

На устьевых участках рек, в водотоках и водоёмах, расположенных в дельтах рек Дунай и Днепр, волнение опасности практически не представляло, поэтому наблюдений за ним не производили. Здесь преобладали штиль, рябь, короткие крутые волны при нагонном ветре и только в половодье при сильном ветре развивалось волнение, аналогичное озёрному. В водотоках сильное течение препятствовало развитию волн, разгон волн здесь был небольшой.

Волнение на устьевых взморьях, куда распространялись волны морского происхождения и зыбь, было более опасно. Волнение при преобладающих направлениях ветра (**Глава 2, с. 72**) над акваториями устьев показано на рис. 3.13.

Наиболее опасно ветровое волнение на открытом взморье р. Дунай (рис. 3.13а), где разгоны волн при различных направлениях – наибольшие. Например, если для Днепровско-Бугского лимана и Севастопольской бухты волноопасным являлся западный ветер, то на устьевом взморье р. Дунай существенное волнение развивалось при ветрах любого направления (кроме северо-западных и западных ветров). Волнение на мелководье неоднородное, так как оно со стороны моря по-разному открыто для ветров: Жебриянская бухта защищена от южного ветра, вызывавшего на открытом устьевом взморье сильное волнение, а этот же ветер на взморье Сулинского рукава и южнее Георгиевского рукава формировал значительное волнение, иногда сопровождавшееся абразией берегов. Преобладание северо-восточных и северных ветров способствовало волнению, распространявшемуся с северо-востока в южном и юго-западном направлениях. Ветровое волнение преобладало (его повторяемость 80–95 %), зыбь отмечалась

в 1–10 % случаев. При средних ветровых условиях наибольшую повторяемость в мелководной части имели волны высотой $\geq 0,25$ –0,5 м, в глубоководной – 0,4–1,0 м.

Рисунок 3.13 – Волнение на устьевых взморьях рек Дунай (а), Днепр и Юж. Буг (б), Бельбек и Чёрная (в) при преобладающих направлениях ветра

В районе с. Приморское п. Усть-Дунайске средняя высота волн составляла 0,4 м, максимальная – 3,5 и 2,2 м соответственно. По расчётам автора, высота волн (обеспеченностью 1

%), которые генерируются редкими штормами, могут достигать 3–4 м в открытой, глубоководной части взморья, и 2–3 м – в его прибрежной части, а в редких случаях (повторяемостью 0,1 % и менее) – 6,6 м (при штормовых ветрах 25–40 м/с). Средний период волн на устьевом взморье р. Дунай был равен 3 сек. в прибрежной части и 5 сек. в глубоководной; максимальный период, обеспеченностью 1 %, соответственно, 5 и 10 сек. В открытой, глубоководной части устьевого взморья (где глубина больше половины длины волны) повторяемость высот волн, превышавших 1 м, составляла 45–50 %, 3 м – 2,5–4 %, 5 м – 0,1–1,0 % [123, с. 523–525]. Полученные результаты близки к данным работы [61].

Волнение в морском устье р. Дунай не ограничивалось устьевым взморьем, так как глубоководные, прямолинейные участки крупных устьевых рукавов при сильных ветрах также подвержены волнообразованию, хотя длина разгона волн была незначительной (5–25 км). По данным Дунайской ГМО ветровые волны в Килийском и Сулинском рукавах достигали иногда высоты более 1 м. При глубине водотока 8–10 м, скорости ветра 10–15 м/с и более, высота волны 1 % обеспеченности здесь может быть равна 1–1,5 м. При нагонном ветре высота и крутизна волн в устьевых рукавах значительно увеличивалась, что влияло на условия плавания малотоннажных судов, затрудняя судоходство. В мелководных лимано-озёрах украинской части устья р. Дунай при сильном ветре 15–20 м/с возможная высота волн достигала 1–1,2 м, так как длина разгона здесь была больше, чем в водотоках. В румынских озёрах максимальная высота волны не рассчитывалась, но по данным работы [52] она была меньше 1 м.

В Днепроовско-Бугском лимане преобладало волнение, обусловленное северо-восточным ветром (рис. 3.13б). При средних ветровых условиях (5 м/с) наибольшая повторяемость волн соответствовала грациям $\leq 0,25$ м в прибрежной части лимана и 0,3–0,7 м в открытой части устьевого взморья. При усилении ветра до 15 м/с, волнение увеличивалось незначительно, так как наибольшая длина разгона волн при северо-восточном ветре всего 18,6 км.

Наиболее волноопасными в Днепровском лимане являлись западные и восточные ветра. Средняя высота волны в западном районе лимана при восточном ветре 10 м/с достигала 0,8 м; при 15 м/с – 1,0 м и при 20 м/с – 1,2 м; в восточной части (при западном ветре), соответственно, 0,4, 0,6 и 0,8 м. Высота волны 1 % обеспеченности при западном, юго-западном ветре в зависимости от глубины может достигать 1,0–2,0 м (от г. Очакова до с. Станислава). Для района Кинбурнского пролива максимально возможная (по расчётам) высота волны при южном и юго-западном ветре – 2,8 м. Средний период волны в западном районе лимана изменялся в пределах 1,2–4,2 с. в зависимости от волнообразующих факторов. Полученные по [330] расчётные величины волнения согласуются с данными полуинструментальных и визуальных наблюдений в г. Очакове, а также с оценками Ю.Г. Слатинского [328] и близки к результатам

моделирования [6]. Однако последние [6] представляются заниженными для западной части устьевого взморья.

Для определения климатических и экстремальных характеристик волнения получены функции распределения скорости ветра волноопасных для лимана направлений и соответствующих им высот волн [195]. Предельная обеспеченность восточного (повторяемостью 11 %), юго-западного (повторяемостью 12 %) ветров составляла 0,007 %. Средняя высота волны при таких ветрах не превысит в западном районе Днепровского лимана, соответственно, 1,1–1,2 м, а максимальная 2,6–2,9 м. Предельная обеспеченность западного ветра (повторяемостью 7 %) составляла 0,01 %. Средняя высота волны в восточной и центральной частях Днепровского лимана не превысит 0,9 м, максимальная 1,9 м. Такие ситуации возможны 1 раз в 100 лет. В то же время, ежегодно может отмечаться восточный ветер скоростью 15 м/с и юго-западный ветер скоростью 13 м/с, формирующие в западном районе лимана волны средней высотой 0,8 м. В районе с. Станислав устойчивый западный ветер скоростью 12 м/с, отмечающийся ежегодно, может вызывать волнение, при котором средняя высота волны будет равна 0,6 м.

Сведения о режиме волнения на устьевых взморьях рек Бельбек и Чёрная ограничены, так как на взморье р. Бельбек стационарные наблюдения за волнением никогда не производились, а наблюдения в Севастопольской бухте прекращены с 1985 г. [208]. Согласно районированию акватории по условиям волнения Ржеплинского Г.В. [334], рассматриваемые взморья отнесены к Севастопольскому району или к Юго-Западному Крымскому району, для которого наиболее волноопасными являлись северо-западные и западные ветра. Анализ климатических условий показал, что в среднем 27 раз в год отмечался западный ветер, а наиболее волноопасный, но наименее продолжительный и наименее устойчивый северо-западный ветер – в среднем 3–4 раза в месяц. В 70 % случаев над акваториями взморьев преобладал ветер переменных направлений скоростью 1–5 м/с. При этих условиях формировалось поле волнения, представленное на рис. 3.13в), полученное в соответствии с рекомендациями СНиП [330].

Наибольшую повторяемость, 16–17 %, имело волнение северо-восточного, южного и восточного направлений. В холодный период года (с ноября по март) отмечались сильные ветра северо-восточного, восточного или юго-западного направления, способные развить волны, высота которых не превышала 1–1,5 м. Они имели среднюю повторяемость в году около 1 %, а значительные шторма волноопасных направлений – повторяемость 0,1–0,3 %. Высота волны, возможная в Севастопольской бухте 1 раз в 50 лет, составляла 1,9 м. Полученные величины хорошо совпадают с оценками волнения Репетина Л.Н. и др. [61; 291], а также с натурными данными, и не совпадают с результатами расчётов по модели *SWAN* [5], в соответствии с которой в бухту, через пролив в 0,4 км, могут заходить из моря волны высотой 2–3,5 м, что сомнительно.

На устьевом взморье р. Бельбек максимальные волны достигали бóльшей величины, особенно при западном ветре. Иногда на открытое устьевое взморье реки распространялись волны зыби, сформировавшиеся в открытом море при южных (повторяемость 24 %) и юго-западных ветрах (повторяемость 9 %). Максимальная высота волны здесь может достигать (по результатам расчётов) 2,8 м, а мористее – до 4 м. В прибрежной части взморья р. Бельбек преобладало северо-восточное волнение (повторяемость 22 %), в более мористой части – южное и юго-западное (13 %). Преобладание восточных и северо-восточных береговых ветров не вызывало сильного волнения, поэтому на устьевых взморьях рассматриваемых крымских рек преобладали волны, высота которых не превышала 0,25 м (рис. 3.13в). В прибрежной части взморьев штиль и небольшое волнение имело среднюю за год повторяемость 89 % (на 5–6 % больше, чем было до сооружения молов и массовой застройки городской территории). Повторяемость волнения в диапазоне 0,75–1,25 м, напротив, уменьшилась на 3–4 % и составила в настоящее время 0,65 %. Но при штормовом ветре, в бухте и на взморье р. Бельбек, иногда развивалось значительное волнение (Глава 5, рис. 5.4, 5.5), достигавшее опасного уровня и наносящее ущерб, в основном из-за наката волн (заплеска) на берега, который превышал высоту волн, иногда в несколько раз.

Для всех морских устьев рек максимальное волнение наблюдалось с декабря по март, минимальное – в июне–июле. Внутригодовой ход волнения и его многолетняя изменчивость соответствовали изменчивости ветра: наибольшее волнение было характерно для холодного периода года. В прибрежной зоне всех устьевых взморьев в безлёдный период штиль фиксировали в 2–3 % случаев; высота волн, не превышавшая 0,25 м, имела повторяемость 68–69 %; в пределах 0,3–0,7 м повторяемость высоты волн составляла 26–28 % и в 2–3 % случаев волны имели высоту, равную или превышавшую 0,8 м. В современный климатический период (1961–2012 гг.) повторяемость штормового волнения уменьшалась в среднем на 0,5–0,7 % в год. Эта тенденция связана с уменьшением скорости ветра и строительством волнозащитных сооружений.

ГЛАВА 4 АБИОТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ УСТЬЕВЫХ ЭКОСИСТЕМ

4.1 Минерализация

4.1.1 Изменчивость минерализации воды

Все морские устья рек делятся на две взаимосвязанные части: область транзита речных вод, с определённой минерализацией, и устьевое взморье, с характерным распределением солёности воды [8; 12; 24; 311; 322; 325; 327; 418]. На основе анализа временной и пространственной изменчивости концентрации главных ионов на устьевых участках рек получены современные данные о минеральном составе речных вод, его многолетней и сезонной изменчивости, рассчитан модуль стока и сток главных ионов (приходная составляющая баланса солей).

Для всех устьевых участков рек и водотоков в дельтах типично увеличение минерализации воды по направлению к взморью (р. Юж. Буг в 5–8 раз), что связано с осолоняющим влиянием моря. Средняя минерализация в вершинах морских устьев рек не превышала предельно-допустимой концентрации (ПДК), равной 1000 мг/л [251; 312], исключая р. Ингул (где она была равна 1200 мг/л), и составляла: 346 (р. Днепр), 395 (р. Дунай), 400 (р. Ингулец), 426 (р. Чёрная), 523 (р. Бельбек) и 705 мг/л (р. Юж. Буг). Вода всех рассматриваемых рек была преимущественно гидрокарбонатно-кальциевого типа, среднеминерализованная, исключая устьевые участки рек Юж. Буг, Ингул и Бельбек, где обычно наблюдалась повышенная минерализация.

Наибольшая изменчивость средней годовой минерализации воды отмечалась в воде рек Юж. Буг, Ингулец и Бельбек, наименьшая – рек Днепр и Дунай. В период 1961–2017 гг. значимых тенденций в изменении минерализации речных вод не обнаружено. Внутригодовая изменчивость содержания минеральных веществ во всех морских устьях рек была обусловлена особенностями их водного режима и формирования минерального состава воды, которое происходит по всей длине реки путём смешения поверхностных и подземных вод различных генетических категорий и разного химического состава, что рассмотрено в работах Алёкина О.А., Гордеева В.В., Журавлёвой Л.А., Харченко Т.А. и автора [7; 68; 105; 123; 214; 216; 355].

Для большинства рек в отдельные периоды года или круглогодично – чем больше сток реки, тем меньше минерализация (как и концентрация других ингредиентов гидрохимического состава), что отмечалось также в работах [355; 415]. Это обусловлено поступлением в русла низкоминерализованных талых и дождевых вод, разбавлением ими речной воды в период половодья и паводков. В межень сумма главных ионов часто имела наибольшие значения из-за увеличения доли грунтового и карстового питания. Особенности сезонного хода суммы главных ионов ($\Sigma и$) на устьевых участках различных рек иллюстрирует рис. 4.1.

Рисунок 4.1 – Сезонные изменения суммы ионов (Σu) на устьевых участках рек

4.1.2 Сток ионов

В работе автора [216, с. 249], на основе анализа внутригодовой изменчивости расхода воды (Q), стока главных ионов (W_u) и минерализации (Σu), установлено, что одной из основных составляющих стока растворённых минеральных веществ являлся сток воды. Средний многолетний годовой сток главных ионов в вершинах МУР составлял в млн. тонн в год: 88,6 (р. Дунай), 15,0 (р. Днепр), 1,5 (р. Юж. Буг), 0,3 (р. Ингул), 0,2 (р. Ингулец), 0,03 (р. Бельбек) и 0,02 (р. Чёрная). Суммарный вынос минеральных веществ в устья рек был равен 106 млн. т, 84 % выноса приходилось на р. Дунай, играющую основную роль в поступлении Σu в Чёрное море. По сравнению с периодом естественного стока ([8] и др.) вынос ионов реками Дунай, Днепр и Юж. Буг в современный период (табл. 4.1) увеличился на 33, 13 и 23 % соответственно, что было обусловлено увеличением их концентрации после сооружения водохранилищ и внутригодового регулирования стока рек (табл. 3.1). Основная масса растворённых минеральных веществ поступала на устьевые взморья при повышенной водоносности рек, даже если минерализация их воды в этот период была минимальная. С июня по октябрь сток главных ионов во все устья рек был мало изменчив, а с ноября – увеличивался. Зависимости между стоком главных ионов и расходом воды для всех рек тесные, коэффициенты корреляции высокие (табл. 4.1), поэтому они приемлемы для приближённых оценок среднего месячного и годового стока ионов при отсутствии данных о минерализации воды, будущего стока минеральных веществ при изменении расхода воды, например, в результате изъятия стока, переброски или других причин природного и антропогенного характера. Приведённые в табл. 4.1 уравнения также можно использовать для восстановления пропусков в наблюдениях, при этом учитывая ограничения по расходу воды.

Таблица 4.1 – Зависимость среднего месячного стока ионов $W_{\text{и}}$ (тыс. т) от среднего месячного расхода воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$) в вершинах морских устьев рек

Устье реки, период осреднения	Зависимость $W_{\text{и}} = f(Q)$	Коэффициент корреляции	Ограничения по расходу воды
Дунай, 1961–2012	$W_{\text{и}} = 1,01Q + 627$	0,98	2000–13000
Днепр, 1961–2012	$W_{\text{и}} = 0,95Q - 27,5$	0,98	100–9000
Юж. Буг, 1961–2012	$W_{\text{и}} = 1,12Q + 16,4$	0,93	10–2300
Бельбек, 1964–2017	$W_{\text{и}} = 1,14Q + 0,40$	0,98	0,10–10
Чёрная, 1956–2017	$W_{\text{и}} = 1,17Q - 0,04$	0,97	0,10–10

Тесная зависимость стока ионов ($W_{\text{и}}$) от расхода воды (Q) делает сравнение абсолютных значений ионного стока различных рек необъективным, так как изменчивость стока воды

Рисунок 4.2 – Модуль стока ионов (т/км² в год)

больше, чем минерализации, и независимо от концентрации ионов в воде и от её зависимости от стока, чем больше сток реки, тем больше сток ионов. Поэтому для сравнения стока ионов, поступавшего в устья разных рек, рассчитан модуль стока ионов (рис. 4.2), который характеризует ионный сток с каждого квадратного километра площади водосбора [123, с. 577]. В среднем за многолетний период в год с 1 км² водосбора на устьевые участки рек поступало главных ионов (в тоннах): 108 (р. Ду-

най), 63,0 (р. Бельбек), 58,6 (р. Чёрная), 30,3 (р. Ингул), 29,8 (р. Днепр), 23,4 (р. Юж. Буг) и 17,5 (р. Ингулец). Таким образом, удельное поступление главных ионов в воду рек Юж. Буг и Днепр имело близкие значения, а в р. Бельбек с каждого квадратного километра водосбора поступало в 2 раза больше главных ионов, чем в р. Днепр, хотя сток воды и ионов р. Днепр более чем на порядок превышал соответствующий сток рек Юж. Буг и Бельбек (рис. 4.2). Это объясняется различиями в эродируемости пород и особенностями питания (доле минерализованного подземного стока), поэтому минерализация р. Бельбек в большую часть года была больше минерализации остальных рек на их устьевых участках (рис. 4.1). Отсюда следует, что рассматриваемые морские устья рек по удельному стоку главных ионов можно разделить на три группы: 1) р. Дунай – с большим модулем стока, превышавшим 100 т/км²; 2) модуль стока ионов, превышавший его среднее значение для бассейна Чёрного и Азовского морей [7], 50–60 т/км², был характерен для рек Бельбек и Чёрная; 3) реки Днепр, Ингул, Юж. Буг и Ингулец имели небольшой модуль стока, равный 20–30 т/км², близкий к среднему значению этой характеристики в бассейне Чёрного и Азовского морей [7; 65].

4.2 Солёность воды

4.2.1 Изменчивость солёности воды

За рассматриваемый период (табл. 4.1) значимых тенденций в изменении средней годовой солёности воды на постах на устьевых взморьях рек не обнаружено, за исключением устьевого взморья р. Дунай (на 2 постах в Жебриянской бухте, рис. 1.2, с. 14), где в последние 15 лет отмечалось её уменьшение в среднем на 0,05 ‰ в год. Это было обусловлено увеличением меженного стока из-за изменения климата (с. 71, 72; 77, 78), обвалованием рукавов (что уменьшило аккумуляцию воды в дельте), распреснением Жебриянской бухты из-за перераспределения стока в пользу впадающего в неё Соединительного канала, сбросами с рисоводческих систем, уменьшением забора воды реки в придунайские озёра, а также преобладанием сгонного ветра с июня по сентябрь [83; 123, с. 120; 143; 244]. В последние 3 года из-за дноуглубительных работ увеличилась солёность Инкерманского лимана. Разнонаправленные тенденции сезонной изменчивости солёности воды Днепровско-Бугского лимана не отразились на её среднем годовом значении, поэтому она значимого тренда не имела. Для многолетней изменчивости солёности воды были типичны естественно-обусловленные многолетние колебания с периодами 3, 7, 11–12 и 16–20 лет, близкими к периодичности колебания стока рек. Коэффициент вариации средней годовой солёности поверхностного слоя воды взморьев на водомерных постах изменялся от 0,04 до 0,30.

Пределы значений средней месячной солёности воды на постах в сроки измерений (в поверхностном слое воды, у берега) и на глубоководных станциях во время океанографических съёмок, представлены в табл. 4.2. На устьевых взморьях больших рек годовой ход солёности был отчётливо выражен. Например, на взморье р. Дунай минимальная солёность отмечалась в много-

Таблица 4.2 – Солёность воды на водомерных постах и измеренная в период океанографических съёмок на устьевых взморьях рек

Горизонт	Морское устье реки		
	Дунай	Днепр и Юж. Буг	Чёрная и Бельбек
Средняя месячная солёность воды у берега, ‰			
поверхность	2,30–17,8	0,31–10,0	16,6–18,9
Коэффициент вариации, C_v			
поверхность	0,11–0,40	0,02–0,72	0,01–0,02
Солёность воды в сроки измерений у берега, ‰			
поверхность	0,31–18,5	0,29–15,7	7,10–19,4
Солёность воды на глубоководных станциях съёмки, ‰			
в точке измерений	0,34–22,7	0,29–21,0	6,40–19,8
Коэффициент вариации, C_v , по всему объёму устьевого взморья			
в точке измерений	0,23	0,71	0,04

водный период года, в апреле–мае, максимальная – в сентябре, в межень. В Жебриянской бухте, максимум солёности был приурочен к декабрю, когда уменьшались сток реки, сбросы с оросительных систем и из лим.-лаг. Сасык, а северный и северо-восточный ветра способствовали нагону более солёной воды в Жебриянскую бухту и к нижней границе дельты.

В восточной части Днепровско-Бугского лимана минимальная солёность была в период максимальных сбросов из каскада водохранилищ, в мае–июне, максимальная – в августе, когда сток рек и средняя скорость ветра минимальные, продолжительность штилей максимальная, наименьшая повторяемость восточных (сгонных) ветров, значительное испарение и небольшое количество осадков.

На постах Бугского лимана, где ежегодно образовывался ледяной покров, минимальная солёность поверхностного слоя воды наблюдалась зимой, в феврале, когда лёд препятствовал перемешиванию, изолируя водную поверхность от действия ветра, и пресная вода подо льдом распространялась на большие расстояния. При этом толщина распреснённого слоя воды была больше, чем в безлёдный период [190; 216, с. 259; 326]. Таяние льда также способствовало распреснению поверхностного слоя воды [190]. К тому же, в феврале сток рек Юж. Буг и Днепр постепенно повышался (из-за подготовки водохранилищ к приёму паводка), увеличивалась повторяемость сгонных ветров. Максимальная солёность Днепровско-Бугского лимана обычно отмечалась в августе–сентябре при меженном стоке рек.

Колебания стока малых рек Крыма не вызывали существенных изменений средней месячной солёности воды взморьев, так как их сток незначительный, а паводки непродолжительные, но иногда сильно распреснялся поверхностный слой воды (табл. 4.2). Поэтому годовой ход солёности на устьевых взморьях рек Чёрная и Бельбек почти не выражен, изменения средней месячной солёности воды – в пределах точности её определения и расчёта. Наибольшая средняя месячная солёность воды здесь отмечалась в ноябре, что соответствовало максимумам солёности воды в прилегающем районе Чёрного моря.

В связи с неоднородностью гидролого-геоморфологических условий (с. 68–70), существенной изменчивостью солёности воды, расположением в морских устьях рек динамичных фронтальных зон [99; 100; 354], использование *СКО* для анализа пространственно-временной изменчивости солёности воды, в соответствии с работами [1; 182; 296], не является показательным. Например, несоответствие очевидно из рис. 4.3, где бóльшему значению солёности воды соответствовало бóльшее значение *СКО*, однако коэффициент вариации, характеризующий степень изменчивости параметра, был меньше. В самом деле, на всех устьевых взморьях (а не только в Днепровско-Бугском лимане, как показано на рис. 4.3) наименьшая изменчивость солёности воды была характерна для более мористых участков взморьев, где *СКО* максимальное.

Поэтому для анализа пространственной и временной изменчивости солёности воды при-

Рисунок 4.3 – Эпюры солёности (S , ‰), стандартного отклонения (CKO , ‰) и коэффициента вариации (C_v) в восточном (а) и западном (б) районах Днепровско-Бугского лимана

менялся безразмерный коэффициент C_v , что позволило впервые сравнить изменчивость солёности воды как различных устьев, так и в пределах одного устья, установить их морские границы. Наименьший C_v средней месячной солёности воды характерен для Севастопольской бухты, где влияние среднего месячного стока р. Чёрной сказывалось на режиме солёности в меньшей степени, чем солеобмен с Чёрным морем. С марта по май, в период повышенной водоносности больших рек, наблюдалась наибольшая изменчивость средней месячной солёности воды. В это время C_v достигал 0,2–0,4 (взморье р. Дунай) – 0,6 (Днепровско-Бугский лиман), имея максимальные значения (0,7–0,8) у нижней границы дельты р. Днепр и в районе судоходного канала (1,0 и более). В межень изменчивость средней месячной солёности воды – наименьшая.

Впервые исследована суточная изменчивость солёности воды на устьевых взморьях. В результате установлено, что её суточный ход (рис. 4.4) соответствовал суточному ходу уровня воды (рис. 3.4, с. 83) и направлению потока (прямого или обратного). Ранее такое соответствие в крат-

косрочных изменениях этих характеристик не удавалось обнаружить [175].

Рисунок 4.4 – Суточная изменчивость солёности воды морских устьев рек Дунай, Днепр и Южный Буг в поверхностном (пов) и придонном (дно) горизонтах по многосерийным наблюдениям

Чем больше уровень воды, тем больше её солёность, так как в отличие от сезонных колебаний солёности, которые были вызваны изменчивостью расхода воды реки, её суточный ход в большей степени зависел от адвекции морской воды, обусловленной внутрисуточными волновыми колебаниями уровня лимана и Чёрного моря. Это подтверждает анализ суточной изменчивости составляющих солеобмена через Кинбурнский пролив (Глава 6, рис. 6.14, с. 240).

Из рис. 3.4 и 4.4 видно, что максимальному уровню воды на всех постах в устьях рек соответствовала максимальная солёность. Стоковая составляющая уровня (в суточном диапазоне изменчивости) оставалась приблизительно постоянной; влияние речного стока на уровень воды устьевых взморьев даже во внутригодовом масштабе было незначительным (Глава 3, с. 81).

Подъём уровня воды на устьевых взморьях соответствовал обратной положительной волне («волне наполнения» [233]) – солёная морская вода поступала на устьевые взморья и их

солёность повышалась, спад уровня в течение суток соответствовал смещению водной массы в море (прямая отрицательная волна [233]) и притоку на её место более пресной воды. Такое циклическое влияние моря на устьевые взморья рассматриваемых рек нарушалось в период стонно-нагонных явлений [123, с. 418–421]. Этот процесс, носящий приливо-отливный характер, проявлялся в устьях рек не одновременно. Ранее всего «волна наполнения» достигала взморья р. Дунай, к 12 ч. здесь отмечался максимум солёности (интересно, что в это же время наблюдался пик численности и интенсивности хода в реку дунайской сельди на нерест), затем он фиксировался в Севастопольской бухте и на взморье р. Бельбек, а в 18–21 ч. максимальная солёность воды отмечалась в Днепровско-Бугском лимане. В придонном слое на суточный ход солёности влияли компенсационные, плотностные и др. течения, поэтому максимумы наступали в иные сроки (обычно раньше), чем в поверхностном слое воды (рис. 4.4).

Суточный ход солёности, в зависимости от конкретных гидрометеорологических условий, достигал максимальных значений, порядка 5–10 ‰, минимальных – 0,2–0,3 ‰, в среднем составляя 0,5–1,5 ‰ (рис. 4.4). Наибольшая суточная изменчивость солёности воды была характерна для верхних частей устьевых взморьев вблизи впадения водотоков (в полосе 2–20 км в зависимости от стока реки). Средняя интенсивность изменения солёности поверхностного слоя воды в Днепровско-Бугском лимане в различное время суток составляла 0,03–0,2 ‰/час, на взморье р. Дунай – 0,01–0,1 ‰/час.

Современное распределение средней годовой солёности в поверхностном и придонном слоях воды устьевых взморьев, преобладавшее при средних гидрометеорологических условиях, показано на рис. 4.5, 4.6. Распределение солёности воды устьевых взморьев зависело от особенностей влияния речного стока на приёмные водоёмы разной морфометрии. Берега Днепровско-Бугского лимана и Севастопольской бухты, являясь естественным продолжением речных долин, препятствовали боковому растеканию речных струй, что способствовало формированию перпендикулярного береговой черте фронта изогалин в поверхностном слое воды. В глубоководных частях закрытых устьевых взморьев зона осолонения имела вид «языка» более солёных вод, а в судоходных каналах формировался особый тип осолонённой зоны в виде «клина» проникавших по направлению к реке вод взморья, при этом изогалины были параллельны берегам. На открытых устьевых взморьях (взморье Днепровско-Бугского лимана и устьевых взморьях рек Дунай и Бельбек) изогалины были параллельны генеральному направлению береговой черты, направлены выпуклостями в сторону моря и, приближаясь к берегу между устьями рукавов, оконтуривали «языки» распреснённой воды против устьев рукавов или выхода из проливов (рис. 4.5, 4.6). Схема на рис. 4.5 согласуется с данными предшествующих работ [48; 60; 61].

Рисунок 4.5 – Среднее многолетнее распределение солёности поверхностного слоя воды (‰) в открытых частях устьевых взморьев рек Дунай (а), Днепр и Юж. Буг (б), Бельбек и Чёрная (в)

Днепровско-Бугский лиман был наиболее опреснён. При этом средняя солёность воды Бугского лимана была больше, чем солёность воды Днепровского лимана, что объясняется большей мелководностью и проточностью последнего, а также меньшим (по сравнению с Бугским лиманом [216, с. 266]) соотношением объёма поступающих по судоходному каналу осолонённых вод и объёма Днепровского лимана. Средняя многолетняя солёность (ошибка расчёта которой не превышала 5 %) вдоль оси лимана изменялась от 1 до 6 ‰. Несмотря на то, что сток р. Дунай

больше, чем р. Днепр, солёность устьевое взморья р. Дунай была больше (7–17 ‰, средняя ошибка 7 ‰), чем Днепровско-Бугского лимана. Это обусловлено морфометрическими различиями взморьев: приглубое взморье р. Дунай включало бóльший объём солёной воды, чем отмелое

Рисунок 4.6 – Среднее многолетнее распределение солёности воды (‰) на устьевом взморье рук. Килийского (I), в Днепровско-Бугском лимане (II) и Севастопольской бухте (III) в поверхностном (а) и придонном (б) слоях воды

взморье р. Днепр, и условия перемешивания на открытом взморье р. Дунай были лучше. Из-за незначительного распресняющего влияния стока малых рек Крыма, солёность устьевоего взморья р. Бельбек и Севастопольской бухты была наибольшей, она изменялась от 15 до 18 ‰ (средняя ошибка 10 ‰).

Для всех МУР заметно влияние стока рек на распределение изогалин (рис. 4.5, 4.6). Наиболее сложные средние многолетние поля солёности воды характерны для Днепровско-Бугского лимана (из-за наличия глубоководного судоходного канала), наиболее однородное распределение солёности воды отмечалось в Севастопольской бухте (ввиду незначительной распресняющей роли стока р. Чёрной).

Размах солёности на устьевых взморьях изменялся от 0,03 до 23 ‰, что значительно больше, чем в море. Мелководья взморьев, в условиях слабой проточности и повышенного испарения, иногда имели бóльшую солёность, чем море, а проточные стрежневые участки в период половодья распреснялись до уровня речной воды.

Количественно пространственная неоднородность солёности воды оценивалась с помощью её горизонтальных и вертикальных градиентов. Средний горизонтальный градиент солёности воды устьевых взморьев был равен 0,2 ‰ на км, а в фронтальных зонах – до 15 ‰ на км (в работе [11] – до 10 ‰ на км). Вертикальные градиенты солёности ($grad\ s$, ‰/м), характеризующие особенности зоны смешения и проникновения галоклина [233], неоднородны в пространстве. Чем больше расслоение воды на взморье и вертикальные градиенты солёности, тем меньше смешение и больше вероятность проникновения галоклина (**Глава 6**, с. 258–269). В соответствии с этим параметром рассматриваемые устьевые взморья рек типизированы по преобладающему типу стратификации воды следующим образом:

1. Стратифицированная водная масса ($grad\ s > 1$ ‰/м) характерна для устьевоего взморья р. Днепр в его глубоководной части. Несколько менее стратифицирована вода Бугского лимана и мелководий ($grad\ s = 0,6–0,8$ ‰/м).

2. На открытом устьевом взморье р. Дунай отмечалась в основном умеренная стратификация водной массы ($grad\ s = 0,3–0,5$ ‰/м).

3. В Севастопольской бухте и на взморье р. Бельбек преобладала однородная водная масса ($grad\ s = 0,03–0,06$ ‰/м), распресняемая как поверхностным, так и подрусловым стоком.

В слое скачка, вертикальный градиент солёности достигал 5–10 ‰/м.

В первом случае, распресняющее влияние стока рек Днепр и Юж. Буг, преобладание речных факторов над морскими и наличие судоходного канала являлись основными причинами, обуславливающими выраженную стратификацию воды, которая благоприятствовала проникновению галоклина в устьевые водотоки. На взморье р. Дунай, несмотря на его глубоководность и

образование слоя скачка в отдельные периоды, преобладала умеренно стратифицированная водная масса. Ведущая роль морских факторов и незначительность стока рек Бельбек и Чёрная способствовали хорошему перемешиванию и однородному распределению солёности на их устьевых взморьях в большую часть года.

Изменчивость солёности воды представлена на рис. 4.7 коэффициентом вариации C_v . Оче-

Рисунок 4.7 – Распределение C_v солёности в поверхностном слое воды устьевых взморьев рек Дунай (а), Днепр и Юж. Буг (б), Бельбек и Чёрная (в)

видно, что его значения максимальны в области адвекции речной воды на устьевые взморья разного типа. Именно в этих районах происходит интенсивная смена водной массы с различным химическим составом. За пределами указанных границ, соответствующих значениям C_v , равным 0,1 (для устьев больших рек) и 0,02 (для устьев малых рек), изменчивость солёности воды не превышала погрешности её определения. Этот факт использован для обоснования выбора морских границ МУР (Глава 2, с. 67, 68) и районирования зоны смешения речных и морских вод (Глава 6, с. 247–250).

Исследование влияния речного стока (Q) на солёность устьевого взморья (S) позволило установить связи $S = f(Q)$ для всех морских устьев рек независимо от их типа (табл. 4.3).

Полученные уравнения могут использоваться для прогноза возможных изменений солёности воды в зависимости от изменения расхода воды. В отличие от зависимостей, предлагаемых в [11; 105; 156], корреляционные отношения и коэффициенты корреляции (R) эмпирических уравнений, представленных в табл. 4.3, больше, так как они получены по более длинным рядам наблюдений и учитывают стратифицированность воды. Оценка R по F -критерию Фишера в основном удовлетворительная для 5–10 %-ного уровня значимости [260; 296]. По расчётам (табл. 4.3), при средних погодных условиях и максимальном среднем годовом расходе р. Днепр ($2600 \text{ м}^3/\text{с}$), солёность верхнего пятиметрового слоя воды ($S_{\text{пов-5}}$) Днепровского лимана составит 2 ‰, при минимальном ($726 \text{ м}^3/\text{с}$) – 6 ‰, при среднем ($1340 \text{ м}^3/\text{с}$) – 3,5 ‰. При изменении среднего годового расхода воды р. Днепр на каждые

$\pm 100 \text{ м}^3/\text{с}$, $S_{\text{пов-5}}$ лимана будет изменяться в среднем на $\pm 0,2 \text{ ‰}$. Река Днепр опресняла поверхностный слой лимана и прилегающей части моря, связь между средним годовым расходом воды р. Днепр и $S_{\text{пов}}$ в г. Очакове имела отрицательное корреляционное отношение, равное 0,82. Влияние речного стока на верхний 5-ти метровый слой лимана было более выражено [175], корреляционное отношение равнялось минус 0,92. Средняя ошибка аппроксимации по представленным в табл. 4.3. уравнениям не превышала $\pm 10 \text{ ‰}$. Полученные зависимости могут быть основой для оценки изменения солёности лимана и его частей в результате перекрытия Северо-Крымского канала (Глава 7, с. 310–311).

Таблица 4.3 – Зависимости солёности воды (‰) устьевых взморьев от стока рек ($\text{м}^3/\text{с}$)

Пункт – водный объект, период (годы)	Дискретность	Зависимость $S = f(Q)$	Корреляционное отношение, коэффициент корреляции (R)
п. Усть-Дунайск – взморье р. Дунай, 1961–2012	месяц	$S_{\text{пов}} = 151Q_{\text{Дун}}^{-0,34}$	-0,85
с. Приморское – Жебриянская бухта, 1981–2012	месяц	$S_{\text{пов}} = -0,0004Q_{\text{Дун}} + 16,2$	-0,74
г. Очаков – Днепровский лиман, 1964–2012	год	$S_{\text{пов}} = 491Q_{\text{Дн}}^{-0,67}$	-0,82
г. Очаков – Днепровский лиман, 1964–2012	месяц	$S_{\text{пов}} = 584Q_{\text{Дн}}^{-0,69}$	-0,92
г. Николаев – Бугский лиман, 1962–2012	месяц	$S_{\text{пов}} = 533Q_{\text{сум}}^{-1,42}$	-0,91
Днепровско-Бугский лиман, 1968–2012	год	$S_{\text{лим.}} = 575Q_{\text{сум}}^{-0,63}$	-0,78
Днепровский лиман, 0–5 м	год	$S_{\text{пов-5}} = 1351Q_{\text{Дн}}^{-0,83}$	-0,92
г. Севастополь – Севастопольская бухта, 1966–2018	сутки	$S_{\text{пов}} = -0,35Q_{\text{Чёр}} + 18,2$	-0,96

Примечания

1. $S_{\text{пов}}$, $S_{\text{пов-5}}$, $S_{\text{лим.}}$ – Средняя солёность поверхностного, верхнего 5-ти метрового слоя воды и лимана, ‰.
2. $Q_{\text{Дун}}$, $Q_{\text{Дн}}$, $Q_{\text{сум}}$, $Q_{\text{Чёр}}$ – Расход воды р. Дунай, р. Днепр, рек Днепр и Юж. Буг, р. Чёрной, $\text{м}^3/\text{с}$.

Рассчитанные по зависимостям (табл. 4.3) значения солёности согласовались с натурными данными (расхождения не превышали 7 %): при средних годовых расходах воды рек (табл. 3.1, с. 75) средняя годовая солёность в г. Очакове была около 4 ‰ (на 3 ‰ меньше, чем по приводимой в работе [175] формуле), п. Усть-Дунайске – 7,5 ‰, г. Севастополе – 17,8 ‰.

Внутригодовые изменения водного режима обуславливали асинхронные изменения солёности в различных частях устьевых взморьев, поэтому зависимости $S = f(Q)$ для средних месячных величин имели высокие отрицательные корреляционные отношения и коэффициенты корреляции (табл. 4.3).

Для р. Чёрной зависимости средней месячной солёности воды бухты от расхода не получено, так как из-за малого стока и кратковременности его влияния на бухту солёность воды изменялась в течении 1–2 суток, кроме того, в отдельные месяцы велись дноуглубительные работы, изменявшие режим солёности. Поэтому зависимости $S = f(Q)$ были более тесными для ежесуточных значений и имели отрицательные корреляционные отношения, равные 0,87–0,96.

4.2.2 Баланс солей Днепровско-Бугского лимана

Оценить баланс солей удалось только для Днепровско-Бугского лимана, для остальных устьевых взморьев определена приходная составляющая баланса – сток главных ионов с речным стоком. Для условий Днепровско-Бугского лимана (и аналогичных устьев) годовой баланс солей оценивался приближённо по упрощённому уравнению

$$\pm \Delta S = S_p \pm S_m, \quad (4.1)$$

где ΔS – изменение количества солей в устье, обусловленное притоком солей с реками (S_p) и солеобменом с прилегающей частью открытого устьевого взморья (S_m). Остальные составляющие (солеобмен с атмосферой, подземными водами, с грунтами дна и берегов, за счёт антропогенного влияния, биохимических процессов, ледовых явлений, смыва с берега и боковой приточности) не учитывались из-за недостатка данных.

Полученные ранее авторские данные, приведенные в работе [216, с. 294], уточнены.

Средняя солёность прямого потока принималась равной 3,8 ‰, как средняя взвешенная верхнего слоя воды, для которого был характерен перенос веществ от реки к морю, в соответствии с анализом преобладавших течений (Глава 3, с. 86); обратного – 15,4 ‰ (как средняя взвешенная в слое воды, где преобладали обратные течения, направленные от моря к реке). Перенос воды через Кинбурнский пролив принимался по данным автора (табл. 3.2).

Среднее многолетнее поступление минеральных веществ со стоком рек Днепр и Юж. Буг составляло около 16 млн. т/год, а из открытой части взморья через Кинбурнский пролив в среднем в лиман поступало около 209 млн. т /год. Примерно столько же солей, сколько поступало в лиман, выносилось из лимана в прилегающую часть взморья, т.е. 224 млн. т/год (табл. 4.4). Результаты, полученные Журавлёвой Л.А. [105], меньше на 87 и 106 млн. т/год соответственно, из-за занижения значений солёности воды прямого и обратного потоков на 2–3 ‰. Таким образом, невязка баланса солей (табл. 4.4), около 1 млн. т/год (0,4 % от его приходно-расходной части), свидетельствует, в соответствии с [51], об удовлетворительной точности расчётов. В среднем за период с 1976 г. по 2012 г. солезапас водной массы лимана стабилизировался на уровне 12,3

млн. т, средняя солёность лимана составила 3,75 ‰, что близко к значениям, полученным Копай-городским Е.М. методом солезапаса за период с 1923 г. по 1955 г. [152].

Таблица 4.4 – Составляющие баланса солей Днепровско-Бугского лимана

Приходная часть баланса солей, млн. т/год		Аккумуляция солей в лимане, млн. т/год, невязка баланса
сток главных ионов рек Днепр и Юж. Буг	приток в лиман через Кинбурнский пролив	
16	209	
Расходная часть баланса солей, млн. т/год		1
сток из лимана в море	224	

4.3 Газовый состав и pH

Газовый состав воды и pH играют важную роль в формировании гидрохимического режима морского устья, являются показателями качества водной среды. Кислород поступает из атмосферы или образуется в результате фотосинтеза. Его недостаток может привести к заморам рыбы (Глава 5, с. 206–211), появлению в придонном слое сероводорода, избыток – провоцировать смещение окислительно-восстановительных процессов, способствовать образованию свободных радикалов [150; 255]. От водородного показателя зависит жизнедеятельность гидробионтов, по концентрации ионов водорода можно ограничить зону влияния речного стока на устьевое взморье в различные сезоны года, так как эта характеристика для речных и морских вод неодинакова. Выполненная автором проверка данных наблюдений за содержанием растворённых газов и pH в воде морских устьев рек на наличие значимых трендов свидетельствовала об их отсутствии с 1976 по 2012 г. в устьях больших и с 1976 по 2017 г. в устьях малых рек Крыма.

4.3.1 Насыщение воды растворённым кислородом

Средние многолетние схемы (рис. 4.8) распределения насыщения воды растворённым кислородом (%) в морских устьях рек Дунай, Днепр и Юж. Буг, Чёрная свидетельствуют об очевидной обусловленности этой характеристики стратифицированностью водной массы (рис. 4.6). Из-за недостатка данных насыщение воды кислородом на устьевом взморье р. Бельбек изучено недостаточно детально, поэтому данные пока не обобщены. Основными причинами изменчивости насыщения воды кислородом (кроме адвекции разнородных вод) являлись особенности продуцирования и потребления этого газа в условиях устойчивой плотностной стратификации воды, перемешивания в различные периоды года и при сгонах-нагонах, а также загрязнённость воды. Насыщение воды кислородом увеличивалось в периоды: повышенной водности рек, понижения температуры воды (зимой), массового развития фитопланктона и уменьшалось к концу лета, в

межень (вплоть до гипоксии в придонном слое воды), при расходе кислорода на окисление органического вещества, накопленного за вегетационный период и достаточном прогреве. Эти же выводы отражены в предшествующих работах [29; 105; 115; 121; 144; 150; 255; 322; 332; 348; 355; 361; 372; 373].

Рисунок 4.8 – Среднее многолетнее насыщение воды кислородом (%) в поверхностном (а) и придонном (б) слоях взморья р. Дунай (I), Днепроовско-Бугского лимана (II) и Севастопольской бухты (III)

Насыщение воды растворённым кислородом изменялось от 0 до 291 % (взморье Килийского рук. р. Дунай), от 0 до 298 % (Днепроовско-Бугский лиман) и от 7 до 189 % (Севастопольская

бухта). Приведенные данные расширяют диапазон изменчивости этого ингредиента, по сравнению с материалами ранее опубликованных исследований (ссылки даны выше), так как обобщение выполнено по более длинным рядам наблюдений. По материалам ГВК [80; 82] в замыкающих створах крымских рек насыщение воды кислородом составляло 99 % (р. Чёрная) и 100 % (р. Бельбек). В Севастопольской бухте [84] насыщение кислородом поверхностного слоя воды варьировало в пределах 93–103 %, придонного – 83–101 % (рис. 4.8). Влияние речного стока в большую часть года здесь незначительное, процессы фотосинтеза не столь масштабны, как в Днепровско-Бугском лимане или на взморье р. Дунай [31; 84; 103; 105; 115], водная масса довольно однородная. Особенно были обеднены кислородом застойные участки бухты.

В среднем поверхностный слой воды устьевых взморьев рек Дунай и Днепр был насыщен кислородом в пределах 100–125 %. Меньше, но примерно одинаковым было насыщение воды этих рек – оно составляло 84–85 %. В поверхностном слое взморьев вода обогащалась кислородом при абсорбции газа из атмосферы в условиях ветро-волнового перемешивания и при фотосинтезе. На устьевых взморьях формировались благоприятные условия для пересыщения воды кислородом, в большую часть года биомасса фитопланктона имела максимальные значения, наблюдалось «цветение» воды, происходило интенсивное продуцирование кислорода при фотосинтетической деятельности фитопланктона [115]. Поэтому насыщение кислородом поверхностного слоя воды взморьев было больше, чем воды устьевых рукавов рек Дунай и Днепр и устьевых участков этих рек. Причём, независимо от типа устья, наибольшее насыщение воды кислородом обычно отмечалось в диапазоне солёности 4–12 ‰ (рис. 4.5). Именно для аналогичных районов разных устьев рек, по данным исследований Гордеева В.В., Лисицына А.П. и др. [69; 166], было характерно максимальное развитие гидробионтов, жизнедеятельность которых оказывает влияние на гидрохимический режим зоны смешения речных и морских вод.

В придонном слое обеднённая кислородом вода распространялась к устьевым рукавам р. Дунай и вдоль судоходного канала в Днепровско-Бугском лимане (рис. 4.8). В нижних, осолонённых, слабо перемешанных слоях, вода иногда застаивалась, кислород быстро расходовался на окисление органических веществ и возникал его дефицит. При этом в прибрежных мелководных районах взморьев, заросших водной растительностью, с хорошим перемешиванием водной толщи, насыщение воды кислородом было наибольшим по всей глубине, а в судоходном канале практически всегда отмечался дефицит растворённого кислорода.

Недостаток кислорода в воде во все сезоны года был характерен для загрязнённых акваторий городов, особенно портов. Так, в районе порта Николаев кислородный дефицит отмечался в 44,3 % случаев. При этом насыщение воды кислородом в 21 пробе из ста было ниже 60 %, в 11 пробах из ста – ниже 30 %, что подробно изложено в работе автора [340].

4.3.2 Сероводород

Исследователи сероводородного заражения природных вод сходятся во мнении, что причиной этого является разложение органических веществ в условиях застойности водной массы из-за установившейся плотностной стратификации, препятствующей вертикальному обмену, что и вызывает гипоксию и появление сероводорода [31; 38; 144; 343; 348; 433]. По данным наблюдений Гидрометеослужбы СССР, Украины и СО ГОИН (МО УкрНИГМИ) сероводород фиксировался только в лимане [79], по данным работы [19] – и на взморье р. Дунай, по материалам МГИ РАН (Орехова Н.А., Коновалов С.К.) – в донных осадках Севастопольской бухты.

Из-за недостатка данных средняя многолетняя зона распространения сероводорода в придонном слое воды представлена на рис. 4.9 только для Днепровско-Бугского лимана. Наибольшая концентрация сероводорода отмечалась в судоходном канале Бугского лимана и восточной части Днепровского лимана. Зона сероводородного заражения, ограниченная концентрацией 0,1 мг/л, сейчас занимает в придонном слое почти $\frac{1}{4}$ часть площади лимана.

Рисунок 4.9 – Среднее многолетнее содержание сероводорода (мг/л) в придонном слое лимана (а) и вероятность (%) сероводородного заражения (б)

Средняя многолетняя концентрация сероводорода в судоходном канале северной части Бугского лимана составляла 0,5–0,6 мг/л, максимум, 9,4 мг/л, отмечался 09.09.1998 г. в районе г. Николаева на ст. 18 (рис. 1.3, рис. 4.9). В восточном районе Днепровского лимана среднее содержание сероводорода варьировало в пределах 0,3–0,4 мг/л (03.09.1992 г. – 4,5 мг/л), в центральном – 0,1–0,2 мг/л (26.07.2001 г. – 4,0 мг/л), в открытой части устьевого взморья – 0,01–0,03 мг/л (02.07.1992 г. – 0,7 мг/л). Чаще всего сероводород фиксировали в пробах воды в летне-осеннюю межень, с июля по сентябрь, но иногда этот газ обнаруживали даже весной и зимой. На рис. 4.9б показано, как часто наблюдали сероводород в придонном слое воды в период с 1976 г. по 2012 г. В 20 и более процентов проб, отобранных за этот период в Бугском лимане, центральной и восточной частях Днепровского лимана, сероводород присутствовал. На остальной глубоководной акватории вероятность обнаружения сероводорода была меньше, а на прибрежном мелководье его обнаруживали в единичных пробах.

Таким образом, сероводородное заражение придонного слоя (толщиной 2–3 м) отмечалось в 10–20 % отобранных проб, в основном, при пониженном стоке р. Днепр и штиле. Такой комплекс гидрометеорологических условий способствовал усилению плотностной стратификации, образованию слоя скачка плотности, развитию гипоксии и даже аноксии, что и приводило к появлению сероводорода.

В портовой акватории г. Николаева, в северной части Бугского лимана в придонном слое воды, сероводород был обнаружен почти в каждой третьей пробе. В районе судоходного канала толщина слоя, зараженного сероводородом, иногда составляла 3–5 м. Обратные течения, характерные для придонного слоя (**Глава 3**, с. 86), способствовали поступлению в район г. Николаева заражённой сероводородом воды из застойной центральной части Бугского лимана. Поступление в Бугский лиман воды рек Юж. Буг и Днепр в поверхностном слое и лиманной воды в придонном слое, а также особенности рельефа вызывали подпорные явления, затрудняли водообмен, что способствовало образованию застойных зон в углублениях дна в районе г. Николаева.

Если в более ранних исследованиях сведений о появлении сероводорода на мелководных станциях не содержалось, то по данным наблюдений НЦГМ в 1992 г. в восточном районе Днепровского лимана на глубине 5 м концентрация сероводорода составляла 0,9 мг/л; на глубине 4–5 м в центральной части Днепровского лимана повышенное содержание сероводорода фиксировали в 1992, 1997 (отмечался замор рыбы) и в 2001 гг., при этом концентрация сероводорода составляла 0,1–1,3 мг/л. В августе 2009 г. в центральной части Днепровско-Бугского лимана наблюдался замор бычка, аноксия и появление сероводорода. В западном районе Днепровского лимана, в его мелководных частях, на глубине 3,5–5,0 м также фиксировали сероводород в эти же годы, и его содержание составляло 0,3–2,6 мг/л. Следовательно, можно предположить, что зона сероводородного заражения могла увеличиться. Не исключено, что этому, кроме соответ-

вующих гидрометеорологических и динамических факторов (например, уменьшение стока межени и увеличение температуры воды), способствовали дноуглубительные работы в канале, с последующим складированием грунта на мелководных отвалах в лимане.

4.3.3 Водородный показатель (рН)

Эта гидрохимическая характеристика в речных водах за рассматриваемые периоды наблюдений составляла в среднем: 7,9 (реки Дунай, Бельбек и Чёрная), 8,1 (р. Днепр), 8,3 (р. Юж. уг). Значения рН в Днепровско-Бугском лимане стабилизировались на уровне 8,2–8,8, на устьевом взморье р. Дунай – 8,0–8,6, в Севастопольской бухте – 8,0–8,4. Экстремальные значения рН имел на устьевых взморьях, они составляли 6,1–10,4; в водотоках рек – 6,0–9,3. Пространственное распределение водородного показателя приведено на рис. 4.10.

Рисунок 4.10 – Водородный показатель (рН) в поверхностном (а) и придонном (б) слоях взморья рек. Килийского р. Дунай (I), Днепровско-Бугского лимана (II) и Севастопольской бухты (III)

Из рис. 4.6 и 4.10 очевидно влияние на устьевые взморья адвекции речных, более кислотных, и проникавших в придонном слое морских, более щелочных, вод.

Отмечалась идентичность в распределении рН и насыщения воды кислородом (рис. 4.8, 4.10), особенно для устьевых взморьев рек Дунай, Днепр и Юж. Буг, что обусловлено общностью причин, повышающих концентрацию сравниваемых ингредиентов, основной из которых, по-видимому, являлся фотосинтез. Поэтому максимальные величины рН были приурочены к центральному и западному районам Днепровского лимана (рис. 4.10, II) и к Жебриянской бухте (рис. 4.10, I). Вертикальное распределение водородного показателя в воде устьевых взморьев также было аналогично распределению насыщения воды кислородом. Поскольку гидрохимические исследования на взморьях больших рек выполнялись, в основном, в светлое время суток в тёплый период года, когда потребление гидробионтами углекислого газа и интенсивность фотосинтеза были наибольшими, средняя концентрации рН поверхностного слоя воды могла быть завышена из-за отсутствия данных в зимний период и в ночное время. Значения рН поверхностного слоя взморьев рек Дунай, Днепр и Юж. Буг были больше, чем у дна, так как наиболее активно процессы фотосинтеза развивались в верхнем слое воды. Причём градиенты между поверхностью и дном были существенными и составляли 1,5–3,5. Экстремальные величины рН наблюдались при разном насыщении её растворённым кислородом: минимуму рН (6,1) соответствовал дефицит кислорода до 3 % насыщения, максимуму (10,4) – пересыщение до 298 %.

Распределение рН в Севастопольской бухте (рис. 4.10, III) отличалось от распределения этого ингредиента на устьевых взморьях больших рек (рис. 4.10, I, II). Здесь влияние стока реки на поверхностный слой воды в среднем было не столь значительным, но сточные и ливневые воды, поступавшие в бухту, приводили к тому, что рН поверхностного слоя воды был меньше, чем придонного. Влияние поступления морской воды заметно отражалось на распределении рН по всему объёму Севастопольской бухты (рис. 4.10, III) и распространялось к её вершине.

Важной характеристикой экологического состояния водной среды морских устьев рек является биологическое потребление кислорода (БПК₅), характеризующее убыль растворённого кислорода в процессе окисления органических веществ при определённом значении рН. Этот параметр определялся эпизодически и остаётся до сих пор недостаточно изученным. Среднее значение БПК₅ изменялось от 1,4 до 7,8 мг/л и в 50–55 % случаев превышало ПДК (т.е. было выше 3 мг/л). Как минимум, в половине отобранных проб вода была загрязненной (7–9 % проб), грязной (34–36 % проб) и очень грязной (9–10 % проб) по этому показателю. Максимальное значение БПК₅ достигало 55,1 мг/л (в устье р. Ингулец, 03.11.1990 г.), т.е. превышало уровень экологического бедствия [278]. Это свидетельствовало о высокой степени загрязненности воды устьеобразующих рек органическими веществами.

4.4 Биогенные вещества

4.4.1 Изменчивость концентрации главных элементов биогенного цикла

Биогенные вещества или главные элементы биогенного цикла (ГЭБЦ) поступали в устья с речным стоком (приоритетный источник) и сточными водами. Ранее, в работах автора [123, с. 587–622; 194; 201; 203; 204; 206; 214; 216, с. 363–388, 415–427], установлено, что в воде устьевых водотоков рек Дунай и Днепр ГЭБЦ хорошо перемешаны и распределены в сечении потока однородно, поэтому их средняя многолетняя концентрация рассчитана как средняя арифметическая (за 1976–2012 гг.) и приведена в табл. 4.5, из которой видно, что концентрации в основном были в пределах ПДК (по [251]). В воде р. Дунай преобладали соединения азота, а фосфором была обогащена вода рек Юж. Буг и Ингул.

Таблица 4.5 – Средняя концентрация ГЭБЦ в расчётных створах

Устье реки, период	Биогенное вещество, мкг/л						
	фосфаты	фосфор общий	азот аммоний.	азот нитрит.	азот нитрат.	азот общий	кремний
ПДК [251]	170	–	390	20	9100	–	–
Дунай, 1976–2012	130	225	280	35	580	2190	2200
Днепр, 1976–2012	135	200	60	10	175	1025	2450
Юж. Буг, 1976–2012	210	265	125	15	300	1495	2210
Ингул, 1976–2012	200	265	145	20	295	1545	2645
Ингулец ^{*)} , 1976–2012	90	170	210	15	215	1260	2620
Бельбек, 1973–2017	40	140	180	20	1680	2010	2800
Чёрная, 1980–2017	55	135	170	10	645	815	2225

Примечание – ^{*)} – Приближённая оценка из-за недостатка данных.

Изменчивость концентрации ГЭБЦ во времени существенна – C_v был равен среднему значению или превосходил его в 1,2–15 и более раз, так как ГЭБЦ эпизодически попадали в реки в концентрациях, превышавших средние значения в 5–15 раз, а иногда их вообще не обнаруживали. Коэффициент вариации концентрации кремния составлял 0,5–0,6, что в среднем в 2 раза меньше C_v концентрации нитратов, так как кремний являлся природным ингредиентом, практически всегда присутствовавшим в речной воде, в отличие от соединений азота, поступавших также в составе сточных вод, в результате залповых сбросов, что существенно увеличивало их содержание в водной среде. Биогенные вещества, образовывавшиеся в воде при распаде животных и растительных организмов, содержались в небольших количествах и составляли фон, который изменялся при поступлении ГЭБЦ в результате смыва с территорий бассейнов или сбросах сточных вод. Анализ данных натурных наблюдений [79; 80; 82; 84] показал, что из всех форм

ГЭБЦ наименее устойчивым являлся азот аммонийный [437], поэтому его временная изменчивость была наибольшей. Концентрация ГЭБЦ более изменчива во времени в воде малых рек, потому что разбавляющий эффект их стока несущественен (по сравнению с большими реками), и любые сбросы и смыв веществ – значимы. К тому же, малые реки дренируют сельскохозяйственные территории, на которых азотные удобрения широко использовались. Наибольший вклад в загрязнение устьев вносили нитраты и азот общий (табл. 4.5), что совпадает с выводами работ об отдельных реках мира, включая р. Дунай [412; 437].

В период с 1976 по 2012 гг. концентрация ГЭБЦ в створах устьевых водотоков рек Дунай и Днепр значимых тенденций не имела, потому что, с одной стороны, спад экономического развития и уменьшение объёмов сельскохозяйственного производства способствовали уменьшению смыва и сброса ГЭБЦ в бассейнах рек, с другой стороны, старение существующих коммуникаций, технического оборудования, несанкционированные сбросы, отсутствие или аварийное состояние очистных сооружений и другие негативные факторы приводили к увеличению количества поступавших в воду ГЭБЦ. Однако в воде малых рек Крыма (Бельбек и Чёрная) в последние 10 лет уменьшалась концентрация аммонийного азота (в среднем на 10 мкгN/л в год) и нитритов в р. Чёрной (в среднем на 2 мкгN/л в год).

Изменения концентрации ГЭБЦ вдоль устьевых участков рек были разнонаправлены, что подробно проанализировано в работах автора [18; 19; 130; 194; 202], в которых также обоснован выбор расчётных створов для оценки стока ГЭБЦ (табл. 4.5).

Современные схемы распределения средней многолетней концентрации определяемых ГЭБЦ (соединений азота, фосфора и кремния) на устьевых взморьях разного типа представлены на рис. 4.11–4.13.

Общим для всех типов морских устьев рек являлось закономерное уменьшение концентрации ГЭБЦ по направлению к морю вдоль продольных осей устьевых взморьев по всей водной толще [203; 204]. Это подтверждает ведущую роль адвекции речной воды в распределении концентрации ГЭБЦ на устьевых взморьях [437], где в процессе смешения происходили биогеохимические процессы, рассмотренные в работах [69; 166], и разбавление речной воды более чистой морской. Заболоченные и плавневые участки дельт, изобилующие эвтрофными водоёмами и водной растительностью, в различные фазы водного режима являлись не только «накопителями», но и дополнительными источниками ГЭБЦ [105; 355]. Акватории городов и особенно портов были наиболее загрязнены. В условиях постоянного загрязнения, ГЭБЦ поглощались здесь гидробионтами в меньшей степени, чем в других районах морских устьев рек, накапливаясь в воде и донных отложениях, что и отражено на схемах их распределения (рис. 4.11–4.13).

Вода Днепровско-Бугского лимана была обогащена ГЭБЦ, а менее всего их содержалось в воде Севастопольской бухты. Это хорошо видно на примере распределения фосфатов

(рис. 4.11) и нитратов (аналогичная схема). Наибольшие изменения концентрации ГЭБЦ (в 3–5 раз) происходили в Днепровско-Бугском лимане, что обусловлено наличием глубоководного канала, поступлением и смешением речных и морских вод (с разным содержанием биогенных веществ) и внутриводоёмными химическими и биологическими процессами – растворением, окислением, сорбцией, утилизацией ГЭБЦ при развитии фитопланктона и их образованием при минерализации органических веществ.

Концентрация ГЭБЦ в воде устьевго взморья р. Дунай, в результате хорошего перемешивания поверхностного слоя воды, высокой самоочищающей способности приглубого устье-

вого взморья реки, химической и биологической деструкции веществ, уже на расстоянии 10–20 км от нижней границы дельты была в два раза меньше, чем в речной воде (рис. 4.11, 4.12).

Рисунок 4.12 – Средняя многолетняя концентрация кремния (мг/л) в поверхностном (а) и придонном (б) слоях взморья р. Дунай (I), Днепроовско-Бугского лимана (II) и в Севастопольской бухте (III)

Если реки, независимо от величины стока, являлись основными источниками поступления ГЭБЦ на разнотипные устьевые взморья (рис. 4.11, 4.12, [204; 388; 400; 412; 431]), то влияние моря заключалось в поступлении обеднённой ГЭБЦ морской воды, что хорошо иллюстрируют как приведенные выше рисунки, так и пример среднего многолетнего распределения азота аммонийного в Севастопольской бухте (рис. 4.13). Здесь концентрация азота аммонийного в зоне морского влияния была вдвое меньше, чем в кутовых частях бухты. Пространственная изменчивость

других ГЭБЦ была аналогична представленной на рис. 4.11–4.13. Полученные по 173-м съёмкам Севастопольской бухты осреднённые схемы распределения ГЭБЦ (за 1976–2012 гг.) удовлетворительно согласуются с необобщёнными распределениями этих ингредиентов, построенными по данным 48-ми съёмок (за 1998–2007 гг.) и представленными в работе [17]. Расхождения были обусловлены как различием в длине обобщаемых рядов, так и в их неэквидистантности: 73 % данных, представленных в Атласе [17], были получены, в основном, в тёплый период года.

Как видно из рис. 4.12, концентрация кремния могла быть индикатором процессов смешения на устьевых взморьях: в по-

Рисунок 4.13 – Распределение средней по глубине концентрации аммонийного азота (мг/л)

верхностном слое распространялась более пресная вода с высоким содержанием кремния, в придонном слое из открытой части устьевых взморьев поступала осолонённая вода, обеднённая кремнием. Представленные схемы распределения концентрации кремния в Днепроовско-Бугском

лимане и Севастопольской бухте (рис. 4.12, II, III) отличаются от данных, приведенных в работах [17; 94], полученных при обобщении материалов по коротким рядам более ранних наблюдений, где указано, что концентрация кремния в лимане с глубиной увеличивалась. Это обусловлено тем, что в работах [17; 94] приводятся результаты, полученные в тёплый период года, когда вода была более стратифицирована, в придонном слое накопленные органические вещества минерализовались, а в поверхностном слое воды кремний потреблялся фитопланктоном. На устьевых взморьях рек Дунай и Чёрная (рис. 4.12) средняя многолетняя концентрация кремния была распределена в водной толще довольно однородно по сравнению с Днепроовско-Бугским лиманом. Этот вывод совпадает с результатами, полученными авторами работ [212; 372] по данным МГИ НАНУ и Одесского филиала ИНБЮМа НАНУ, т.е. по иным рядам наблюдений, что подтверждает правильность приводимых схем распределения (рис. 4.12).

Установлено, что в поверхностном слое устьевых взморьев обогащённая биогенными веществами речная вода разбавлялась, смешиваясь с морской, ГЭБЦ потреблялись фитопланктоном и их концентрация у поверхности поэтому уменьшалась. Выравниванию вертикального распределения концентрации ГЭБЦ способствовало поступление в придонном слое обеднённой этими веществами морской воды. Кроме того, в придонном слое, где ветро-волновое перемешивание затруднено, и потребление фитопланктоном было минимальным, ГЭБЦ сохранялись или даже образовывались при минерализации органических веществ донных отложений. В резуль-

тате – вертикальное распределение концентрации сглаживалось и стратификации воды по этим элементам (за исключением кремния в Днепровско-Бугском лимане), характерной для солёности, рН, растворённого кислорода и др. ингредиентов, не отмечалось. Поэтому для анализа распределения ГЭБЦ на всех устьевых взморьях, кроме Днепровско-Бугского лимана, имеющего глубоководный судоходный канал, обуславливающий вертикальную неоднородность характеристик, достаточно схем распределения средней по глубине концентрации соединений азота и фосфора. Горизонтальные градиенты средней годовой концентрации фосфатов и нитритов на устьевых взморьях уменьшались от 0,5 до 5,5 мкг/л на 1 км, кремния – от 15 до 50 мкг/л на км (в среднем около 20 мкг/л на км), нитратов – от 2 до 5 мкгN/л на 1 км.

Сбросы хозяйственно-бытовых сточных вод с берега и кораблей, смыв с территорий, динамика вод, обусловленная ветровой активностью, а также химико-биологические процессы носили локальный характер, формируя более неустойчивые, кратковременные ситуационные распределения ингредиентов [17–19; 203; 206; 253; 340]. Поэтому схемы распределения концентрации ГЭБЦ в отдельные съёмки иногда существенно отличались от полей, полученных путём осреднения концентрации на станциях при разнородных ситуациях за многолетний период (рис. 4.9–4.13), характеризующих режим элементов при средних, климатических условиях – «климатический фон». Влияние речного стока на разнотипные устьевые взморья, как показывают осреднённые схемы идентичного распределения концентрации солей и ГЭБЦ (рис. 4.5, 4.6, 4.9–4.13), проявляется в конфигурации изолиний: области максимальных значений концентрации ГЭБЦ, в основном, совпадают с областями наибольшего распреснения (≤ 1 ‰). Поступление ГЭБЦ на устьевые взморья со сточными водами и их аккумуляция в малопроточных районах (например, в Южной бухте г. Севастополя) характерна для закрытого устьевого взморья р. Чёрной. Приуроченность максимальной концентрации аммонийного азота к береговым источникам сброса сточных вод свидетельствует о существенной роли антропогенной составляющей (кроме речного выноса) поступления этого ингредиента на устьевые взморья.

В большинстве рассматриваемых акваторий взморьев (как и в устьевых водотоках) значимых тенденций в многолетних изменениях концентрации ГЭБЦ за последние 35 лет не обнаружено. По данным работы [418] в период 1992–2006 гг. концентрация ГЭБЦ в румынской части взморья р. Дунай уменьшалась, при этом величины и значимость тенденций не были указаны авторами. Отмечались локальные разнонаправленные тенденции концентрации отдельных веществ, что было особенно характерно для района морского порта г. Николаева и явилось результатом хозяйственной и природоохранной деятельности [104]. В центральном районе Днепровского лимана, ежегодное увеличение концентрации фосфатов в среднем составляло 3,6 мкгP/л, в районе Николаевского морского порта – 2,1 мкгP/л в год. Здесь же ежегодно увеличивалась концентрация кремния на 27 мкг/л. Увеличение содержания нитритов в воде (на 0,15 мкгN/л в год)

отмечалось в районе Кинбурнского пролива. В северной части Бугского лимана увеличивалась концентрация общего азота (на 8,1 мкгN/л в год) и нитратов (на 4,8 мкгN/л в год), существенно уменьшалась концентрация аммонийного азота (на 4,5–10,5 мкгN/л в год) и нитритов (на 0,61 мкгN/л в год). Уменьшение во времени концентрации последних двух соединений в акватории Бугского лимана, возможно, связано с реконструкцией головных насосных станций и модернизацией очистных сооружений «Николаевгорводоканала», являющегося одним из основных источников этих ГЭБЦ в рассматриваемой акватории лимана [104]. Однако имевшиеся пропуски в наблюдениях снижали качество оценок тенденций.

Для отдельных ингредиентов удалось выделить сезонный ход (рис. 4.14). Например, в маловодную фазу водного режима, в августе–ноябре, соединения фосфора имели наибольшую концентрацию, минимум отмечался в период половодья на реках – в апреле–мае (а на р. Дунай в июле), что, по-видимому, было обусловлено разбавляющим воздействием талых вод и потреблением ГЭБЦ развивающейся биотой. Летне-осенний максимум наблюдался в межень, при достаточно высокой температуре воды, небольшой скорости течения, поступлении эвтрофированных речных (а также из озёр и плавней) вод, обогащённых продуктами первичной минерализации органического вещества [216, с. 378]. По имевшимся данным натурных наблюдений сезонный ход концентрации фосфатов зависел от температуры воды, лимитирующей продолжительность вегетационного периода: чем теплее была вода, тем позже отмечались экстремумы концентрации этого биогенного вещества (например, на устьевом взморье р. Дунай и р. Чёрной – в октябре–ноябре, а в Днепровско-Бугском лимане – в августе–сентябре).

Рисунок 4.14 – Внутригодовая изменчивость концентрации соединений фосфора (PO_4 , $P_{общ.}$, мкгP/л), кремния (SiO_3 , мкг/л) и азота (NO_2 , NO_3 , NH_4 , мкгN/л) в поверхностном слое воды Бугского лимана

Максимальная концентрация соединений азота (нитритов и нитратов) обычно была приурочена к декабрю–февралю (взморья рек Бельбек и Чёрная), февралю–марту (Днепровско-Бугский лиман) и маю (взморье р. Дунай). Второй, меньший максимум, чаще отмечался осенью. В

период подготовки водохранилищ на реках к приёму половодья в нижние бьефы сбрасывалась вода, обогащённая за зиму соединениями азота, и их количество на устьевых взморьях увеличивалось (рис. 4.14). Это вполне согласуется с выводами работ [105; 388].

Увеличению концентрации азота (исключая азот аммонийный, максимальная концентрация которого во всех устьях рек обычно наблюдалась осенью) зимой и ранней весной (март) способствовал приток воды в периоды частых зимних паводков. В это же время обычно фиксировали максимальные концентрации соединений азота в водохранилищах, где они накапливались за счёт разложения органических веществ. Талые воды, поступая весной (в апреле–мае) в устьевые водотоки рек и на устьевые взморья, разбавляли обогащённые азотом водные массы водоёмов, чем способствовали уменьшению концентрации его соединений. На устьевом взморье р. Дунай максимальное содержание соединений азота было приурочено к маю, когда река выносила большое количество продуктов смыва с территории бассейна. В период летне-осенней межени и в устьеобразующих реках, и на их взморьях, концентрация азота значительно уменьшалась из-за его потребления гидробионтами, только к концу вегетационного периода она несколько увеличивалась, поэтому на взморье р. Дунай в октябре часто наблюдался второй максимум концентрации азота. Особенно возрастала концентрация аммонийного азота, являющегося первичным продуктом минерализации азотсодержащих органических веществ (рис. 4.14). Кроме минерализации органических веществ, увеличению концентрации азота осенью способствовали дожди, так как помимо прихода ГЭБЦ с осадками, происходил смыв с территорий большого количества веществ, содержащих азотистые соединения.

Внутригодовые изменения концентрации кремния в воде морских устьев больших рек были аналогичны сезонному ходу концентрации фосфора (рис. 4.14). В период половодья (в среднем в апреле–мае) концентрация кремния уменьшалась из-за разбавления речных вод талыми, имевшими значительно меньшую концентрацию этого элемента. В межень, когда в реках преобладало подземное питание, концентрация кремния в воде увеличивалась до максимальных величин (в августе–сентябре), так как в подземных водах его концентрация была больше, чем в поверхностных. На устьевых взморьях малых рек увеличение концентрации кремния было обусловлено паводками, в основном отмечавшимися в зимне-весенний период (**Глава 3**, с. 75, 79). Потребление кремния диатомовым фитопланктоном в тёплый период года, в межень, вызывало уменьшение концентрации кремния на устьевых взморьях рек Чёрная и Бельбек.

Отсутствие кремния в воде морских устьев рек – крайне редкое явление, наблюдавшееся в 1–4 % случаев, и даже менее 1 % случаев. В поверхностном слое воды уменьшение концентрации кремния до нуля чаще всего было ранней весной, в придонном слое – летом и осенью. Очевидно, отсутствие кремния в поверхностном слое воды было вызвано разбавлением талыми и дождевыми водами, максимальным развитием диатомового фитопланктона, а в придонном слое

– поступлением солёной воды из прилегающей части моря. По данным работы [94] в отдельных точках Днепровско-Бугского лимана отмечались случаи полного потребления кремния фитопланктоном.

Повторяемость обнаружения соединений азота (исключая азот аммонийный) и фосфора во всех устьях рек была высока и составляла 85–100 %. Азот аммонийный чаще всего, в 75 % проб, присутствовал в районах водовыпусков городских сточных вод, реже он обнаруживался в открытых частях акваторий взморьев – в 35–55 % проб.

Для анализа специфики рядов концентрации ГЭБЦ и выделения общих статистических закономерностей, в различных частях МУР исследовались гистограммы распределения фосфатов, нитритов и кремния (рис. 4.15). Установлено, что их характер отражал особенности попадания растворённых веществ в водную среду. Все гистограммы имели крайнюю асимметрию, в отличие от гистограмм минерализации, близких к нормальному закону распределения [214; 216]. Причём, по направлению к морю асимметричность распределений увеличивалась.

Рисунок 4.15 – Гистограммы распределения концентрации фосфатов (PO_4 , мкгP/л) в различных частях устьевого взморья рек Днепр и Южный Буг

Ближе всего к нормальному закону распределения – гистограммы концентрации фосфатов в устьевых рукавах рек Дунай и Днепр и прилегающих к ним частях взморьев (рис. 4.15, ст. 4). Здесь проявлялись речные факторы влияния, концентрация фосфора зависела от водности рек, и случайный характер в распределении их стока отражался на гистограммах распределения. Действовали и другие факторы, имевшие в этих ча-

стях морских устьев рек существенную изменчивость. В малопроточных загрязнённых акваториях, например, в северной части Бугского лимана (ст. 18), с равной вероятностью (со средней повторяемостью 13 %) концентрация фосфатов изменялась в диапазоне (50–350 мкгP/л), что, по-видимому, связано с детерминированностью её годового хода (рис. 4.14). Постоянные источники поступления фосфора (реки Юж. Буг и Ингул, стоки г. Николаева) и малая способность водной среды к самоочищению, обеспечивали его наличие во всех отобранных пробах, а с повторяемо-

стью 66 % концентрация фосфатов здесь была равна или превышала ПДК (170 мкг/л). Умеренная и крайняя асимметричность гистограмм рядов концентрации была характерна для центрального (ст. 7) и западного (ст. 11) районов Днепровского лимана, устьевого взморья р. Дунай. Так как, в отличие от Бугского лимана (ст. 18), максимальные концентрации фосфора фиксировали на ст. 7, ст. 11 и на взморье р. Дунай поздней осенью и зимой, а в этих районах устьев наблюдения в холодное время года были немногочисленны, повторяемость больших значений концентрации была незначительной. В то же время, была высока вероятность минимальных величин – в 65 % случаев концентрация фосфатов не превышала 100 мкг/л. В западном и морском районах лимана, а также на взморье р. Дунай (в 20 км от дельты) гистограммы были значительно смещены в сторону минимумов (рис. 4.15), так как концентрация фосфатов на устьевых взморьях закономерно уменьшалась в 3–4 раза и стабилизировалась на низком фоновом уровне. На гистограммах распределения концентрации фосфатов, вероятно, могли сказываться и пропуски в определениях качества воды в отдельные сезоны года.

Гистограммы распределения концентрации нитратов наглядно характеризовали, какие концентрации были наиболее вероятны в различных районах устьевых взморьев [130; 214; 216, с. 382]. Крайне асимметричные гистограммы, со смещением центра распределения в сторону минимальных значений, свидетельствовали о том, что большинство проб на анализ отбиралось в одинаковых условиях, очевидно, в вегетационный период, когда содержание нитратов повсеместно было минимальным (с мая по октябрь), в связи с уменьшением стока рек и смыва с территорий, потреблением биогенных веществ фитопланктоном. Однако удалось установить, что распределение концентрации нитратов, полученное за весь годовой цикл (с января по декабрь) на отдельных станциях, аналогично распределениям, характеризующим тёплый период года. Поэтому можно предположить, что гистограммы распределения нитратов, полученные за тёплый период года, являлись характерными для всего года. Из минеральных форм азота нитраты наиболее интенсивно потреблялись фитопланктоном ещё в водохранилищах, устьевых водотоках, водоёмах и плавнях, поэтому к нижним границам рек Дунай и Днепр поступала вода, практически незагрязнённая нитратами. Только изредка они наблюдались в больших количествах, поэтому гистограммы их распределения практически для всех морских устьев рек и в пределах отдельных устьевых акваторий – одинаковые, в отличие от гистограмм распределения концентрации фосфатов (рис. 4.15). Вид их распределения аналогичен представленному на рис. 4.15 распределению фосфатов на ст. 11 (в Кинбурнском проливе). Различия в гистограммах распределения фосфора и азота, очевидно, связаны с неодинаковой растворимостью, миграционной способностью, потреблением микроорганизмами этих элементов, а также другими особенностями химико-биологических процессов на устьевых взморьях.

Гистограммы распределения кремния на устьевых взморьях разного типа существенно

отличались от гистограмм распределения концентраций фосфора и азота, потому что для них была характерна многомодальность. Средние значения концентрации кремния, приведенные в табл. 4.5, не являлись наиболее вероятными, а, следовательно, и наиболее представительными параметрами распределения. Наоборот, частота попадания значений в интервалы, расположенные по обе стороны от средних арифметических значений, была больше, за исключением станций, расположенных в наиболее загрязнённых и наименее проточных акваториях. В зоне транзита и непосредственного влияния речного стока, в поверхностном слое воды, преобладавшими являлись концентрации, превышавшие средние значения. В среднем, концентрация кремния в различных районах устьевых взморьев рек Дунай и Днепр, в диапазоне изменчивости от 500 до 4000 мкг/л, была равновероятна (наблюдалась с повторяемостью около 10 %).

Основной частью исследования изменчивости ГЭБЦ в морских устьях рек разного типа являлось выяснение вопроса о зависимости концентрации ингредиентов на устьевых взморьях от основных речных (стока устьеобразующих рек и концентрации ингредиентов в речной воде) и морских (солёность воды) факторов.

Оценка степени речного влияния на распределение ГЭБЦ на устьевых взморьях выполнялась на основе пространственно-корреляционного анализа. Связи между концентрацией ГЭБЦ (за исключением кремния) в вершинах устьев и на устьевых взморьях получены только для малых рек. Например, концентрация фосфора в вершине Севастопольской бухты и в её предпроливной части была связана с его концентрацией в воде р. Чёрной у с. Хмельницкое, но в разной степени – коэффициент корреляции уменьшался по направлению к морю с 0,91 до 0,35 [201; 203; 206; 214]. Для больших рек аналогичные связи не установлены, так как в дельтах рек Дунай и Днепр обширные плавневые массивы способствовали изменению концентрации азота и фосфора на этих участках устьев [94; 105; 202; 216, с. 366–368; 355; 372; 373; 400]. Например, удовлетворительной связи между содержанием фосфатов в нижнем бьефе Каховской ГЭС, в рукавах р. Днепр, и их концентрацией в восточном районе Днепровского лимана не было. Концентрация фосфатов в речной воде до г. Херсона составляла 80–90 мкгР/л, а ниже, в устьях днепровских рукавов, она увеличивалась до 130 мкгР/л из-за сбросов сточных вод населённых пунктов и плавней в дельте р. Днепр, способствовавших обогащению воды фосфатами. В Бугском лимане содержание биогенных веществ обычно было повышенным из-за сбросов стоков г. Николаева. Поэтому не всегда можно ассоциировать МУР или устьевые взморья с «маргинальным фильтром», всегда снижающим концентрацию растворённых веществ по направлению к морю. В ряде случаев морское устье реки является наиболее загрязнённым водным объектом, источником загрязнения как моря (при прямом потоке), так и реки (при обратном потоке).

Средняя годовая концентрация фосфатов в поверхностном 5-ти метровом слое воды взморьев коррелировала со стоком и солёностью воды (рис. 4.16) у берега (на водомерных постах).

Причём, ранее установить аналогичные связи не удавалось [105]. Однако зависимости (рис. 4.16) получены только за последний 20-ти летний период для районов, прилегающих к дельтам больших рек, и этого недостаточно для достоверной статистической оценки связей. Связь концентрации фосфатов (аналогичная и для кремния) с солёностью воды (рис. 4.16б), в отличие от связи со стоком (рис. 4.16а), прямо пропорциональная, так как сток и солёность связаны обратно пропорционально. Увеличению солёности воды у нижних границ дельт мог способствовать локальный подъём придонных вод (характерный для этих акваторий особенно при сгонно-нагонных явлениях [216, с. 276–277; 404; 405; 409], в которых концентрация фосфатов была несколько больше, чем в поверхностном слое устьевых взморья (рис. 4.11).

Рисунок 4.16 – Зависимости средней годовой концентрации фосфатов (PO_4 , $мгР/л$) от среднего годового расхода воды р. Днепр (а) и средней солёности воды в восточной части Днепровского лимана (б)

Влияние водности рек на содержание ГЭБЦ наиболее ярко проявлялось в Днепровско-Бугском лимане [216, с. 372]. Оказалось, что средняя месячная концентрация фосфатов и кремния в его воде

уменьшалась с ростом расхода воды, а нитратов – увеличивалась (рис. 4.17). Это было характерно и для остальных устьев рек, но аналогичные зависимости были менее тесными.

В многоводные периоды и годы (рис. 4.16а, 4.17) концентрация фосфора и кремния была минимальной из-за разбавления речных вод талыми. Наоборот, при пониженном стоке рек (с увеличением доли грунтового питания) этого разбавления не происходило и на устьевые взморья поступала речная вода, обогащённая фосфатами и кремнием, увеличивая там их концентрацию. Концентрация кремния в воде всех устьевых взморьев была связана с концентрацией этого элемента в воде устьевых участков рек и устьевых рукавов, так как основным источником растворённого кремния в устьях являлся речной сток. Поэтому для всех устьевых взморьев получены обратно пропорциональные зависимости концентрации кремния от стока рек, имевшие вид, аналогичный представленному на рис. 4.17б, а также носившие прямолинейный или экспоненциальный характер. Коэффициенты корреляции указанных зависимостей были высокими (0,80–0,90) и по направлению к морю закономерно уменьшались.

Наличие удовлетворительных зависимостей средней годовой и средней месячной концентрации ГЭБЦ от соответствующих значений стока и солёности поверхностного слоя воды (рис. 4.16, 4.17) устьевых взморьев не гарантирует, что в суточном диапазоне изменчивости и в других

районах устьев они будут аналогичными. В конкретные сроки концентрация ГЭБЦ может зависеть не только от адвекции веществ рекой или разбавления речными водами, но и от других, зачастую локальных, физических, химических, биологических и антропогенных факторов, которые довольно сложно учитывать из-за их комплексного воздействия.

Рисунок 4.17 – Зависимости средней месячной концентрации фосфатов (а), кремния (б) и нитратов (в) от стока рек Днепр и Юж. Буг

Совместный анализ средних месячных значений концентрации нитратов на устьевых взморьях и соответствующих им расходов воды устьеобразующих рек показал, что связи между этими величинами противоположны зависимостям концентрации фосфатов и кремния от стока рек (рис. 4.17). В этом случае влияние стока

проявлялось следующим образом: концентрация нитратов постепенно возрастала с сентября по март–май, когда со стоком выносилось большое количество соединений азота из-за смыва с бассейна, и уменьшалась летом, когда речной сток был обеднён азотистыми соединениями из-за отсутствия осадков и поглощения азота гидробионтами (что характерно в это время для устьевых взморьев). Кроме того, возрастанию концентрации азотистых соединений на устьевых взморьях с ростом стока могли способствовать биотические факторы, связанные с чувствительностью гидробионтов к солёности воды, при изменении которой они гибнут [69], органические вещества распадаются и трансформируются.

Выяснить все особенности поведения ГЭБЦ в водной среде морских устьев рек пока невозможно из-за недостаточной изученности изменчивости различных групп гидробионтов (пресноводных, лиманных и морских), в разной степени биогенофильных. Поэтому для более обоснованных выводов о динамике ГЭБЦ, кроме рассмотренного выше механизма воздействия абиотических факторов на содержание ГЭБЦ в водной среде, следовало бы учитывать в комплексе не менее существенные – биотические [69; 115; 150; 166; 357; 358], что пока не сделано.

Речные воды являются средой обитания пресноводных гидробионтов, устьевые взморья – солоноватоводных. Разная чувствительность организмов к изменению солёности воды, pH, ионного состава и температуры при смешении разнородных вод приводила к их гибели [55; 69; 342; 357; 358], происходило преобразование органических веществ, их аммонификация и концентрация азота увеличивалась. Поэтому повышенное содержание ГЭБЦ было характерно для прилега-

ющих к границам устьевых участков и устьевых рукавов акваторий, где отмечалась большая биомасса пресноводного фитопланктона [94; 115; 357; 372; 373]. Здесь происходило осаждение веществ, выносимых реками, так как скорость течения уменьшалась, солёность воды увеличивалась, адсорбция ГЭБЦ взвешенным веществом активизировалась [69; 88; 166]. В придонном слое органические вещества минерализовались, концентрация ГЭБЦ увеличивалась. По направлению к морю влияние речного выноса и содержание всех ГЭБЦ уменьшались. По немногочисленным данным гидробиологического мониторинга (в рамках ГВК) в устье рек Днепр и Юж. Буг, проникновение галоклина в пресноводные водотоки способствовало гибели поступавших с ним солоноватоводных гидробионтов, что также приводило к увеличению концентрации ГЭБЦ в районах нижней границы дельты р. Днепр и устьевого участка р. Юж. Буг.

4.4.2 Сток главных элементов биогенного цикла

В современный период в Чёрное море, по расчётам автора, с речным стоком поступало в среднем (в тыс. тонн в год): 62 фосфатов, 75 фосфора общего, 689 кремния, 15 азота нитритного, 220 азота нитратного, 103 азота аммонийного и 797 азота общего, что составляло 55–90 % от общего объёма поступления соответствующих ГЭБЦ в море [19, с. 220]. Сравнительный анализ поступления ГЭБЦ в устья из различных источников показал, что их приток с речными водами в основном превалировал над остальными приходными составляющими. Современный сток ГЭБЦ (основная составляющая их баланса в разнотипных устьях рек) представлен в табл. 4.6.

Таблица 4.6 – Сток биогенных веществ (тыс. т/год) в морские устья рек

Река	Биогенное вещество						
	фосфаты	фосфор общий	азот аммоний.	азот нитрит.	азот нитрат.	азот общий	кремний
Дунай	27,7	47,7	59,1	7,80	123	621	466
Днепр	5,63	8,38	2,45	0,50	7,44	43,3	104
Юж. Буг	0,63	0,80	0,38	0,05	0,91	4,50	6,65
Ингул	0,05	0,07	0,04	0,01	0,07	0,39	0,66
Ингулец	0,02	0,04	0,05	0,01	0,05	0,30	0,63
Бельбек	0,003	0,008	0,01	0,001	0,11	0,12	0,17
Чёрная	0,003	0,008	0,01	0,001	0,04	0,05	0,13

Из-за сложности определения концентрации ГЭБЦ в устьях рукавов больших рек (обусловленной сгонно-нагонными явлениями, проникновением осолонённых вод взморья в рукава и недостатком данных), значения выноса ГЭБЦ на устьевые взморья связывались с расходом соответствующих ингредиентов в вершинах дельт рек Дунай и Днепр. Высокие коэффициенты корреляции этих связей (0,89–0,99) позволили рассчитать вынос ГЭБЦ на устьевые взморья по дан-

ным более продолжительных и надёжных рядов наблюдений в вершинах дельт с достаточной степенью точности – обеспеченность метода составляла 84–98 % [133]. Средние невязки выноса ГЭБЦ в вершинах устьев и в устьевых рукавах были в пределах 0,7–8 %.

Наибольший объём ГЭБЦ выносила р. Дунай (81–95 % от суммарного выноса), что составляло 70–93 % от суммарного выноса большими реками северного Причерноморья [19, с. 219–224]. Сток биогенных веществ в период 1976–2012 гг. значимых тенденций не имел, но в последние 15–20 лет в воде всех больших рек содержание ГЭБЦ уменьшалось. Однако из-за пропусков в наблюдениях и сокращения исследований достоверно установить значимость тенденций в последний двадцатилетний период было затруднительно.

Вынос ГЭБЦ реками Дунай и Днепр имел общие черты и особенности. Установлено, что сток ГЭБЦ в морских устьях больших рек в основном зависел от концентрации биогенных веществ, а не от стока воды. Это обусловлено особенностями изменчивости концентрации ГЭБЦ и её зависимостью от стока рек (рис. 4.16–4.17). Оказалось, что изменчивость концентрации ГЭБЦ была в 2–4 раза больше изменчивости расхода воды, поэтому, вклад концентрации в изменчивость расхода (стока, выноса реками) биогенных веществ являлся преобладающим.

Зависимости выноса фосфора и азота от концентрации (коэффициенты корреляции 0,84–0,97) были теснее, чем от стока воды (коэффициенты корреляции 0,46–0,69). *СКО* концентрации указанных ингредиентов для больших рек было равно 60–220 % от средних за многолетний период величин, в то время как сток р. Днепр имел *СКО*, отличавшееся от среднего многолетнего значения на 26 %, а р. Дунай – на 18 %. И хотя в работе [412] приводится довольно тесная связь между стоком Тульчинского рукава р. Дунай и модулем стока кремния, для Килийского рукава удовлетворительных связей между стоком воды и стоком (модулем) ГЭБЦ не получено.

Несмотря на то, что сток воды являлся одной из основных составляющих стока растворённых веществ, его увеличение в вершинах морских устьев больших рек не всегда вызывало увеличение стока ГЭБЦ в устье. Если увеличению стока воды способствовало снеготаяние (при этом почвенный покров ещё оставался промёрзшим), то происходило разбавление речной воды талыми водами, которые были более чистыми, чем речные, и увеличения стока веществ не отмечалось. При выпадении жидких осадков на промерзшую почву и увеличении стока воды, вынос веществ в основном также не увеличивался, а иногда, наоборот, уменьшался. В конце снеготаяния, или при выпадении осадков на незамерзшую, свободную от снежного покрова почву, происходил смыв веществ с поверхности бассейна. В этом случае, при увеличении стока воды обычно увеличивалась концентрация растворённых в ней веществ, сток их увеличивался. Поэтому зависимости стока ГЭБЦ от расхода воды были показательными только для определённых периодов водного режима, а в среднем месячном и годовом диапазоне изменчивости их получить не удалось.

Условия формирования стока ГЭБЦ в больших речных бассейнах Дуная и Днепра отличались не только для устьеобразующих рек, но и для одного и того же створа (например, в устьях рукавов р. Днепр) в различные фазы водного режима. Здесь увеличение стока ГЭБЦ происходило как при росте локальной концентрации, так и при увеличении стока, поступавшего в низовья реки, обогащённого органическими и биогенными веществами, накопленными в водохранилищах днепровского каскада. В отдельных устьевых водотоках связь между расходом воды и выносом ГЭБЦ была неоднозначна и имела две ветви, две зависимости: для многоводного и маловодного периодов. В устьевых рукавах рек, в створах, расположенных вблизи промышленных предприятий, осуществлявших сбросы сточных вод, при уменьшении стока концентрация ГЭБЦ, зачастую, увеличивалась из-за уменьшения разбавления квазипостоянного объёма сбрасываемых в них сточных вод и снижения интенсивности самоочищения, поэтому происходило увеличение стока ГЭБЦ, несмотря на уменьшение стока рек. При увеличении стока рек (и сравнительно постоянном поступлении ГЭБЦ со сточными водами) в рукавах увеличивались разбавление и интенсивность самоочищения, а сток ГЭБЦ уменьшался. Это свидетельствовало о неоднозначной роли стока и определяющей роли изменчивости концентрации в изменчивости выноса биогенных веществ большими реками.

Для малых рек (с паводочным режимом стока в условиях неустойчивой крымской зимы) вынос ГЭБЦ был прямо пропорционален стоку воды. Наиболее тесные зависимости были обнаружены между стоком фосфатов и кремния и стоком (расходом) воды рек Бельбек и Чёрная.

Зависимости для расчёта стока фосфатов (W_{PO_4} , т/год) р. Бельбек (4.2) и р. Чёрной (4.3), а также стока кремния (W_{SiO_2} , т/год) р. Чёрной (4.4) от среднего годового расхода воды соответствующих рек (Q , м³/с), имели довольно высокие коэффициенты корреляции (0,78–0,86) и вид

$$W_{PO_4} = 1,80Q_{\text{Бельбек}} - 0,80, \quad \text{при } Q_{\text{Бельбек}} \geq 0,45 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.2)$$

$$W_{PO_4} = 1,80Q_{\text{Чёрная}} - 0,92, \quad \text{при } Q_{\text{Чёрная}} \geq 0,51 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.3)$$

$$W_{SiO_2} = 160Q_{\text{Чёрная}} - 134 \quad \text{при } Q_{\text{Чёрная}} \geq 0,84 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.4)$$

Полученные зависимости могут быть применимы для приближённых оценок ежегодного стока ГЭБЦ реками Бельбек и Чёрная. По ним можно достаточно достоверно восполнять пропуски в наблюдениях и давать прогнозные оценки. При этом результаты расчёта средних многолетних значений стока ГЭБЦ по формулам (4.2)–(4.4) были близки к результатам, полученным путём осреднения средних годовых значений выноса ГЭБЦ, и отличались (в пределах $\pm 20\%$) от полученных традиционным методом, т.е. перемножением средних многолетних значений стока и концентрации [47; 214; 226].

Структура стока ГЭБЦ (азота, фосфора и кремния) в устьевых створах рек Дунай, Днепр,

Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Бельбек и Чёрная, а также в Кинбурнском проливе показана на рисунке 4.18. По особенностям формирования стока биогенных веществ выделено три группы морских

Рисунок 4.18 – Структура стока биогенных веществ (%)
1 – кремний; 2 – азот общий; 3 – фосфор общий

устьев рек (рис. 4.18). Наиболее типичным являлось преобладание в выносе ГЭБЦ соединений кремния: в стоке рек Днепр, Чёрная и Ингулец он составлял 65–69 %, 27–31 % приходилось на общий азот и 4–5 % – на общий фосфор. Кремний преобладал и в стоке рек Юж. Буг, Ингул и Бельбек, его доля в суммарном выносе составляла 55–59 %. Общего азота эти реки выносили по 35–40 %, а общего фосфора – по 3–7 %. В их бассейнах, с развитым сельским хозяйством, сбросы сточных и коллекторно-дренажных вод, смывы с сельхозугодий недостаточно разбавлялись речными водами, поэтому содержание соединений азота в общей доле выноса было довольно существенным. В стоке ГЭБЦ р. Дунай преобладал не кремний, а азот общий (55 %), сток кремния составлял около 41 %, что значительно меньше его выноса остальными рассматриваемыми реками. Большая доля соединений азота в воде р. Дунай свидетельствовала о существенном загрязнении сточными водами коммунального и сельского хозяйства. В то же время, в стоке ГЭБЦ р. Чёрная азот общий имел наименьшую долю (27 %), а сток кремния – наибольшую (69 %), так как эта река, источник водоснабжения Севастопольского региона, имеет природоохранную зону с ограничением хозяйствования, и в её бассейне сбросы контролировались в большей степени, чем в бассейнах других рек. Полученные результаты для р. Дунай совпали с выводами работы

[412], где также отмечено превалирование стока азота над стоком кремния и фосфора в структуре выноса ГЭБЦ этой реки. Ludwig W.W. [412] объясняет избыток азота над другими биогенными веществами активизацией хозяйственной деятельности в бассейне р. Дунай.

При оценке поступления ГЭБЦ в море из лиманов и бухт предлагается учитывать изменение их концентрации в этих акваториях. Как показано на рис. 4.18, структура выноса через Кинбурнский пролив несколько отличается от таковой в устьевых створах рукавов р. Днепр из-за потребления фосфатов и нитратов гидробионтами в Днепровско-Бугском лимане. Поэтому при расчёте стока ГЭБЦ в открытую часть устьевого взморья учитывался обмен веществами через Кинбурнский пролив. Без его учёта сток растворённых веществ в море был завышен в среднем на 5–6 % (фосфаты, нитраты и кремний) и 9–10 % (остальные биогенные вещества). При расчёте выноса ГЭБЦ через Кинбурнский пролив по концентрации веществ и расходу воды, определённых по непосредственным измерениям в проливе, результаты также были менее точными [216, с. 423], чем полученные методом, представленном в **Главе 6** (с. 235–239) при детальном анализе обменных процессов через Кинбурнский пролив.

Для сравнения стока растворённых веществ в устья различных рек был рассчитан модуль стока [280], характеризующий поступление веществ с каждого км² площади соответствующих водосборов (рис. 4.19). По модулю стока азота аммонийного в вершины устьев рек и средней концентрации ГЭБЦ в воде антропогенная нагрузка на устья всех рек была малой [280], а на устье р. Дунай (по модулю стока NH_4) – оценивалась как умеренная. Анализ модуля стока ГЭБЦ (рис. 4.19) показал, что поступление некоторых ГЭБЦ с каждого км² бассейна рек Бельбек и Чёрная было значительно больше, чем с бассейна р. Днепр. Это согласуется с выводами работы Milliman J.D. [415], где показано, что модуль стока веществ малых рек может превышать модуль стока веществ больших рек. Возможными причинами этого было следующее: 1) сельскохозяйственные угодья и сады в Крыму непосредственно примыкали к рекам, уклоны склонов и размываемость пород были больше, чем на равнинных реках Северо-западного гидрологического района, отсутствовали централизованные сбросы в населённых пунктах сельской местности, поверхность почвы промерзала редко, и в период осадков смыв был интенсивен, склоновый сток быстро трансформировался в русловой; 2) существенную роль в загрязнении играли сбросы сточных вод, так как «разбавляющая способность» малых рек невелика. В бассейнах рек Днепр и Юж. Буг, в прудах и водохранилищах продукты смыва аккумулировались, самоочищающая способность была больше, чем малых рек, осадки иногда выпадали на промерзшую почву, смыв в этом случае был неинтенсивен, и поэтому в замыкающих створах больших рек модуль стока ГЭБЦ был меньше, чем эта характеристика стока веществ, рассчитанная для малых рек. Следовательно, модуль стока ГЭБЦ (за исключением фосфатов) был мало связан с площадью смыва (площадью водосбора рек).

Рисунок 4.19 – Модуль стока ГЭБЦ, т/км² в год

Так как полученная зависимость модуля стока фосфатов (M_{PO_4} , т/км²) от площади водосбора (F , км²), имевшая вид

$$M_{PO_4} = 3 \cdot 10^{-8} F + 0,005, \quad (4.5)$$

охватывала широкий диапазон водосборных площадей устьеобразующих рек и имела коэффициент корреляции, равный 0,89, она вполне приемлема для приближённой оценки модуля стока фосфатов в устьях малоизученных или неизученных рек, какими и являлось большинство малых рек северного Причерноморья. Однако, чем меньше была площадь водосбора реки, тем больше были погрешности расчёта её модуля стока фосфатов по формуле (4.5), в отдельных случаях они достигали минус 44–105 %, очевидно из-за локальных особенностей бассейнов (условий смыва) и влияния источников загрязнения в местах отбора проб.

4.4.3 Баланс биогенных веществ Днепровско-Бугского лимана

В настоящее время определить все составляющие баланса ГЭБЦ во всех морских устьях рек невозможно из-за недостатка данных, поэтому определялись только основные составляющие баланса биогенных веществ Днепровско-Бугского лимана. Для остальных морских устьев рек был рассчитан современный сток ГЭБЦ в вершины морских устьев рек (табл. 4.6) и запас ГЭБЦ в водной среде Севастопольской бухты. От запаса ГЭБЦ в морских устьях рек зависит их троф-

ность и биопродуктивность, а также самоочищающая способность воды, поэтому эта характеристика является важной абиотической компонентой устьевых экосистем.

Среднее многолетнее содержание ГЭБЦ в воде Севастопольской бухты в тоннах составляло: 6,2 аммонийного азота, 0,48 нитритов, 8,0 нитратов, 1,4 фосфатов, 4,9 фосфора общего и 29,2 кремния.

В Днепровско-Бугском лимане ГЭБЦ содержалось в десятки и даже сотни раз больше (также в тоннах): 344 аммонийного азота, 40 нитритов, 459 нитратов, 450 фосфатов, 649 фосфора общего, 3575 азота общего и 5699 кремния.

Средняя концентрация биогенных веществ в прямом и обратном потоках через Кинбурнский пролив определялась аналогично средней солёности (с. 130).

Результаты расчётов, представленные в табл. 4.7, отвечают критериям надёжности, рекомендованным в работе [281]. Они более достоверны, чем приводимые ранее в работах [204; 216, с. 423], так как невязка баланса ГЭБЦ существенно уменьшилась.

Таблица 4.7 – Оценка баланса ГЭБЦ Днепровско-Бугского лимана

Составляющая баланса ГЭБЦ		Биогенное вещество, тыс. т/год						
		фосфаты	фосфор общий	азот аммоний.	азот нитрит.	азот нитрат.	азот общий	кремний
суммарный вынос реками		6,30	9,24	2,87	0,56	8,42	48,2	111
обмен через Кинбурнский пролив	П	6,49	9,74	3,30	0,59	8,56	53,1	115
	О	0,54	1,22	0,72	0,08	0,61	9,5	10,2
	Р	5,95	8,51	2,58	0,51	7,94	43,6	105
невязка баланса		0,35	0,73	0,29	0,05	0,48	4,62	6,2
содержание в лимане		0,45	0,65	0,34	0,04	0,46	3,58	5,70

Примечание – П, О, Р – Прямой, обратный и результирующий перенос ГЭБЦ через Кинбурнский пролив.

Невязка баланса ГЭБЦ включала неучтённые составляющие обмена с контактирующими средами и была сопоставима с содержанием ГЭБЦ в лимане (табл. 4.7). Вынос биогенных веществ через Кинбурнский пролив был на 5–8 % меньше их поступления в лиман с речным стоком, так как они частично поглощались гидробионтами, аккумулировались в донных отложениях и воде, что подтверждалось локальным увеличением концентрации ГЭБЦ, отмеченным выше. Это увеличивало трофность лимана и, очевидно, способствовало развитию негативных биохимических процессов, приводящих к ухудшению качества воды и заморным явлениям (Глава 5, с. 209–211), которые отмечались чаще, чем прежде [215; 216, с. 490–502].

4.5 Основные загрязняющие вещества

4.5.1 Изменчивость концентрации загрязняющих веществ

Исследовалось содержание в воде нефтяных углеводородов (НУ), фенолов (эти элементы определялись также и в донных отложениях), синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) и хлорорганических пестицидов (ХОП). Другие ингредиенты качества воды определялись изредка, поэтому в работе не рассматривались. Анализ рядов наблюдений за концентрацией загрязняющих веществ (ЗВ) в морских устьях рек показал, что значимых тенденций за 1976–2012 гг. не было, но с 1991–1995 гг. повсеместно отмечены тенденции уменьшения концентрации ЗВ в воде больших устьеобразующих рек (Дунай, Днепр). Это связано со спадом хозяйственной деятельности в их бассейнах и уменьшением интенсивности судоходства. Однако в вершине морского устья трансграничной р. Дунай таких тенденций не отмечалось. С европейской территории в устьевую часть реки поступала вода, средняя концентрация нефтепродуктов в которой была в 5–7 раз больше ПДК, а максимальная концентрация даже достигала 100 ПДК [83]. В то же время, отмечалось увеличение концентрации НУ и СПАВ на 0,001–0,002 мг/л в год в воде рек Чёрная и Бельбек, что, наоборот, свидетельствовало об активизации хозяйственной деятельности в ранее неосвоенных частях побережья, увеличении количества автотранспорта [214; 226].

Результаты определения концентрации основных загрязняющих веществ в расчётных створах устьевых участков рек (использованных для оценки выноса) за современный период представлены в табл. 4.8.

Нефтяные углеводороды и СПАВ содержались в воде всех устьевых участков рек (табл. 4.8) причём, НУ – в концентрациях, превышавших ПДК, повсеместно, кроме крымских рек. В отдельных пробах воды (в 1 % случаев) р. Бельбек концентрация НУ превышала ПДК, а в р. Чёрной превышения ПДК никогда не наблюдалось [214]. Фенолы содержались в низовьях рек (кроме рек Бельбек и Чёрная) в концентрациях, превышавших ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения в 2–4 раза. Однако содержание фенолов редко превышало фоновое и соответствовало незагрязнённым и слабозагрязнённым речным водам (менее 0,020 мг/л [251]). Наибольшее фенольное загрязнение было характерно для р. Дунай. Загрязнённость речной воды СПАВ в среднем была ниже ПДК, наиболее загрязнены ими были реки Ингул и Ингулец. ХОП фиксировались в концентрациях, превышавших ПДК, в крупных и средних реках, в воде рек Севастопольского региона они обнаруживались крайне редко. Коэффициент вариации концентрации (C_v) НУ, фенолов и СПАВ в среднем составлял 0,8–2,3, а ХОП – 2,4–5,7.

В устьевых водотоках рек Дунай и Днепр, где НУ были фракционированы и отмечалось хорошее перемешивание, рассматриваемые ЗВ были довольно однородно распределены в толще

воды. Однако однозначно судить о том, уменьшалась или увеличивалась концентрация отдельных веществ от вершин устьев к устьевым взморьям, используя сравнение концентраций в раз-

Таблица 4.8 – Средняя концентрация ЗВ в расчётных створах

Устье реки, период	Загрязняющее вещество							
	НУ, мг/л	фе- нолы, мкг/л	СПАВ, мкг/л	ДДТ, нг/л	ДДЭ, нг/л	ДДД, нг/л	α-ГХЦГ, нг/л	γ- ГХЦГ, нг/л
ПДК [251]	0,05	1,0	100	0	0	0	0	0
Дунай, 1976–2012	0,10	4,3	22	0	0	0	0	0
Днепр, 1976–2012	0,30	2,0	22	3	5	1	1	8
Юж. Буг, 1976–2012	0,33	2,1	19	1	0	0	0	3
Ингул, 1976–2012	0,33	2,5	26	3	1	0	0	4
Ингулец ^{*)} , 1976–2012	0,22	1,9	26	7	3	0	6	5
Бельбек, 1973–2017	0,01	0	10	0	0	0	0	0
Чёрная, 1980–2017	0,01	0	10	0	0	0	0	0

Примечания

1. ^{*)} – Приближённая оценка из-за недостатка данных.
2. Концентрация ХОП приравнивалась нулю, если она составляла менее 1 нг/л.

разных створах, затруднительно. Одни пункты отбора проб были расположены вблизи городов, сбросов сточных вод и портов, другие – в относительно незагрязнённых районах, куда, к тому же, проникали более чистые воды моря (например, в устьевых рукавах рек Дунай и Днепр). Такое сравнение приводило к некорректным выводам, распространённым в литературе, о значительном очищающем влиянии дельт, что не всегда соответствовало действительности. Например, концентрация НУ в устьях рукавов р. Дунай была меньше, чем в вершине устья на 40 %, а соответствующая характеристика в устьях рукавов р. Днепр – на 40 % больше, чем в вершине дельты (здесь же увеличивалась концентрация фенолов на 6 %, ДДЭ – на 63 %). Очевидно, это связано с тем, что в районе г. Рени (вершина устья р. Дунай) пробы отбирались в загрязнённой акватории, а в устьях водотоков (где нет крупных населённых пунктов и расположен Дунайский биосферный заповедник) – в более чистой воде. В вершине дельты р. Днепр источников загрязнения НУ значительно меньше, чем в устьях водотоков, расположенных в нескольких километрах от промышленного центра – г. Херсона. Реки Бельбек и Чёрная были чище больших рек, так как они несудоходны и в их бассейнах отсутствовали крупные сбросы сточных вод (табл. 4.8). Но в отдельных случаях концентрация загрязняющих веществ у нижних границ устьевых участков этих рек была больше, чем в расчётных створах в 30 раз [123, с. 641–642].

Схемы среднего многолетнего распределения основных ЗВ в воде и донных отложениях устьев разного типа представлены на рис. 4.20–4.22, 4.24. Из них очевидны: общие черты в распределении ЗВ и особенности, роль стока рек, поступления морских вод и других факторов про-

странственной и временной изменчивости концентрации загрязняющих веществ.

Рисунок 4.20 – Средняя многолетняя концентрация НУ (мг/л) в воде (а) и донных (б) отложениях (мг/г абс. сухого грунта) на взморье р. Дунай (I), в поверхностном (а), придонном (б) слоях и донных отложениях (в) Днепровско-Бугского лимана (II) и в воде Севастопольской бухты (III)

Так как отбор проб на содержание НУ в воде осуществлялся только в поверхностном и придонном слоях, и схемы распределения концентрации НУ на этих горизонтах были идентичными, на рис. 4.20 (I и III) приводятся схемы распределения только для поверхностного слоя воды. Исключением являлось устье рек Днепр и Юж. Буг, где, из-за наличия судоходного канала, стратификации воды и ряда антропогенных факторов, выявлены различия в распределении концентрации НУ у поверхности и дна (рис. 4.20, II). Содержание НУ в донных отложениях (в объёме, достаточном для статистического обобщения и анализа распределения) определялось только

на взморьях рек Дунай, Днепр и Юж. Буг, поэтому схемы загрязнённости донных отложений приводятся только для этих устьевых взморьев (рис. 4.20, Iб, Пв).

Устьевое взморье р. Чёрной (рис. 4.20, III) было наиболее загрязнено НУ, несмотря на то, что река выносила меньше всего этого загрязняющего вещества (частота обнаружения НУ в воде р. Чёрной составляла около 30 %), наиболее чистым было взморье р. Дунай (хотя НУ обнаруживались в речном выносе с частотой 75 %). Это связано с особенностями хозяйствования, морфометрией взморьев, динамикой вод и условиями самоочищения. Максимальное содержание НУ (по сравнению с рекой и морем) было характерно для устьевых взморьев, независимо от их типа (рис. 4.20). Причин увеличения концентрации НУ могло быть несколько, так как зоны наибольшего нефтяного загрязнения были приурочены к разным участкам взморьев, что отмечалось не только автором [123, с. 633–638; 216, с. 397–402; 223], но и в работе [181]. Во-первых, это портовые акватории и выпуски сточных вод населённых пунктов, во-вторых, районы вдоль судоходных трасс. При этом наибольшая загрязнённость НУ в Севастопольской бухте была характерна для прибрежных акваторий, а глубоководная часть была более чистой, из-за удалённости от источников загрязнения, ветрового перемешивания и «промывки» бухты морской водой (рис. 4.20, III). В Днепровско-Бугском лимане и на взморье р. Дунай наиболее загрязненными были районы судоходных каналов и портовые акватории. Кроме того, высокая концентрация НУ ежегодно фиксировалась в центральном районе Днепровского лимана (рис. 4.20, IIа), в районе гидрофронта на взморье р. Дунай (рис. 4.20, Iа, б), в центральной части Жебриянской бухты (наиболее загрязнёнными районами являлись взморье рук. Прорва и Жебриянская бухта вблизи порта Усть-Дунайск). Вероятно, это было обусловлено нарушением природоохранного законодательства, выразившимся в сбросе судами балластных и промывочных вод, складировании вдоль судоходного канала изъятых из него грунтов, насыщенного нефтяными углеводородами. Повышение концентрации НУ мористее впадения рукавов р. Дунай (рис. 4.20, Iа) было связано с влиянием преобладавших в этом районе устья течений (Глава 3, рис. 3.5), препятствовавших речному выносу и рассеиванию НУ, и способствовавших транзиту более загрязнённой воды с севера и северо-востока СЗЧМ. Определённое значение в уменьшении концентрации НУ у берегов могла играть сорбция НУ грунтами, растительностью [355], деятельность нефтеокисляющих микроорганизмов (зависящая от температуры и солёности воды), а также температурный фактор – распаду нефтепродуктов в прибрежной зоне способствовала более высокая температура воды, отмечавшаяся здесь в тёплый период года, когда и выполнялся наибольший объём исследований. Ряд авторов [358] относит морские устья рек к газонефтеносным районам, предполагая естественное поступление НУ в водную среду устьевых взморьев.

Активизация любительского рыболовства, браконьерства, рекреационных услуг способствовали увеличению количества малотоннажных транспортных средств, состояние которых не

контролировалось, хотя они являлись дополнительным источником нефтяных углеводородов из-за утечек горюче-смазочных материалов. Это могло способствовать увеличению загрязнённости воды НУ в местах их использования.

В хорошо перемешанной речной и более чистой морской воде процессы самоочищения от НУ (и других ЗВ) протекали активнее, чем в лимане и бухтах, так как загрязнённая поверхностная вода перемешивалась и разбавлялась менее загрязнёнными нижележащими водными массами, поэтому даже при одинаковом уровне загрязнённости речных и морских вод, средняя концентрация НУ в водотоках и море была меньше, чем на устьевых взморьях, где вода обычно стратифицирована и загрязняется донными отложениями при их взмучивании.

Дноуглубительные работы на устьевых взморьях осуществлялись на протяжении 150–200 лет, и насыщенные нефтепродуктами илистые донные отложения являлись источником загрязнения воды. Определённая часть НУ могла поступать в воду взморьев с пресноводным фитопланктоном, накопившим это ЗВ в судоходных реках и водохранилищах, который, попадая в солёную воду, отмирал и обогащал среду устьевых взморьев нефтяными углеводородами.

Учитывая, что скорость течения в Днепровско-Бугском лимане, Севастопольской и Жебриянской бухтах меньше, чем в реках, а в период производства натурных наблюдений (в тёплое время года) преобладали, с повторяемостью 70–80 %, штиль и незначительное волнение (Глава 3, с. 112–116), концентрация ЗВ (особенно НУ и СПАВ) у поверхности была несколько завышена из-за их аккумуляции в поверхностном микрослое воды, пятнах и плёнках. Для анализа содержания НУ в плёнках поверхностного слоя воды использовались данные авиасъёмки, выполненных Госкомгидрометом (МГ «Опасное» в 1981–1990 гг.), которые обобщены автором в работах [193; 223; 309]. Средняя плёночная загрязнённость поверхностного слоя устьевых взморьев больших рек была равна 35,2 мг/м² (практически вся площадь обзора при штилевых условиях была покрыта плёнкой). Площадь пятен (интенсивностью 250–1250 мг/м²) в среднем составляла 2–3 % от площади обзора. Повторяемость обнаружения нефтяных пятен интенсивностью более 250 мг/м² на устьевом взморье р. Дунай была равна 17 %, в Днепровско-Бугском лимане – 31 %, в Севастопольской бухте – 37 %. Наибольшая загрязнённость НУ Севастопольской бухты была обусловлена замедленным водообменом с морем, судоходством, урбанизацией побережья, сбросами сточных вод и смывом ЗВ в бухту. Разливы нефтепродуктов в Севастопольской бухте случались регулярно, 1–5 раз в год, а в отдельные годы – значительно чаще (Глава 6, с. 205). Вышеприведенные данные свидетельствовали о существенной загрязнённости НУ не только в растворённой и эмульгированной формах, но и в виде нефтяных плёнок, которые увеличивали содержание НУ в пробах воды, отбиравшихся в поверхностном слое водных объектов.

Повторяемость обнаружения НУ в пробах воды на устьевых взморьях составляла 70–95 %, средняя многолетняя концентрация превышала ПДК (в 72–92 % случаев) и изменялась в

пределах 0,05–0,75 мг/л (рис. 4.20). В разливах и пятнах концентрация НУ увеличивалась на порядок и более, что вызывало экстремальное ухудшение качества воды (**Глава 5**, с. 203–205).

Распределение НУ в донных отложениях подтверждало правильность полученных схем распределения НУ в водной среде (рис. 4.20). В Днепровско-Бугском лимане депонирование НУ в грунтах происходило вдоль той части судоходного канала, по трассе которого осуществлялось наиболее интенсивное судоходство (г. Очаков – г. Николаев), где расположены крупные порты и в местах сброса сточных вод. Наибольшая концентрация НУ в грунтах открытого устьевого взморья р. Дунай была приурочена к району порта Усть-Дунайск, устью рук. Прорва, где осуществлялось судоходство, местам дампинга грунта на траверзе рук. Быстрый. Граница загрязнённой зоны повторяла изобаты, проходила параллельно морскому краю дельты и в районах впадения рукавов была продвинута мористее.

Влияние стока рек на распределение НУ очевидно для всех устьев – он оказывал очищающий эффект на устьевые взморья, как и поступающие в Севастопольскую бухту и Днепровско-Бугский лиман морские воды (рис. 4.20). Самыми загрязнёнными районами закрытых устьевых взморьев рек Юж. Буг и Чёрная являлись кутовые малопроточные части (северная часть Бугского лимана и южная часть Южной бухты), с застойным режимом и выпусками сточных вод. Здесь концентрация НУ с глубиной несколько возрастала, так как тяжёлые фракции НУ погружались, а более лёгкие перемещались в море. При повышенном стоке рек транзит нефтяных углеводородов отмечался во всей толще воды и отложение НУ происходило в меньшей степени, но увеличивалась вероятность вторичного загрязнения придонного слоя из-за увеличения скорости придонных течений.

Фенольные соединения, содержащиеся в воде устьевых взморьев, попадали туда с речным стоком, сточными водами предприятий и образовывались при внутриводных биохимических процессах, например, при распаде органических веществ [150]. Современные схемы распределения концентрации фенолов в устьях рек Дунай, Днепр и Юж. Буг, Чёрная, при средних гидрометеорологических условиях представлены на рис. 4.21.

На устьевом взморье р. Дунай и в Севастопольской бухте распределение фенолов в воде было довольно однородным, в среднем различия в их концентрации по акватории были в пределах 1–2 мкг/л, а по глубине различий вообще не отмечалось. Наиболее контрастные схемы были характерны для Днепровско-Бугского лимана (рис. 4.21), в котором их содержание преваляло над другими акваториями. Хорошее перемешивание воды, песчаные грунты (рис. 3.8) и водная растительность вдоль берегов лимана способствовали самоочищению прибрежных вод от фенолов, и их концентрация здесь была меньше, чем в глубоководной части.

Концентрация фенолов во всех морских устьях рек уменьшалась по направлению к морю.

Коэффициент вариации концентрации фенолов был больше, чем C_v концентрации НУ, а

вероятность их обнаружения – меньше, что объясняется эпизодичностью и «пятнистостью» загрязнения. Причём, в морском устье рек Чёрная и Дунай, где содержание фенолов было меньше, чем в Днепровско-Бугском лимане, они встречались чаще (в 72–85 % проб), в то время как в лимане – в 39–58 % случаев.

Максимальная концентрация фенолов была приурочена к местам впадения рек (основных источников их поступления) в приёмные водоёмы. Здесь же отмечалась наибольшая биомасса пресноводных гидробионтов, происходили отмирание солоноватоводных и пресноводных организмов из-за резких изменений солёности воды и распад органических веществ, их трансформа-

Рисунок 4.21 – Средняя многолетняя концентрация фенолов (мкг/л) в воде взморья Килийского рук. р. Дунай (I) и Севастопольской бухты (III), в поверхностном (а), придонном (б) слоях и донных (мг/г абс. сухого грунта) отложениях (в) Днепровско-Бугского лимана (II)

ция [69; 150; 166; 357; 358], что способствовало увеличению концентрации фенолов. Если вдоль судоходного канала в Днепровско-Бугском лимане деструкция фенольных соединений была замедлена из-за затрудненного вертикального обмена и дефицита кислорода, что и приводило к их повышенным концентрациям в этом районе (до 29 мкг/л), то в Севастопольской бухте и в морской части взморья р. Дунай, где перемешивание воды было лучше, а содержание фенолоксиляющих микроорганизмов – на порядок больше, чем в Днепровско-Бугском лимане, как показано

в работе [19, с. 71], концентрация фенолов была меньше (до 8–10 мкг/л) и распределялась более однородно.

Значимых тенденций концентрации фенолов на большинстве станций устьевых взморьев не обнаружено, за исключением северной части Бугского лимана, где она уменьшалась на 0,08 мкг/л в год, по-видимому, в результате сокращения производственного потенциала в регионе, повышения эффективности природоохранных мероприятий и реконструкции систем канализации г. Николаева [104; 216, с. 407]. Содержание фенолов в донных отложениях изучено только в Днепровско-Бугском лимане. Распределение их концентрации в донных отложениях и воде лимана было аналогичным (рис. 4.21), следовательно, представленные обобщённые схемы распределения фенолов вполне достоверны.

Менее токсичные, чем фенолы и НУ, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), попадали в морские устья со стоком рек, из местных источников сточных вод и при смыве с сельскохозяйственных территорий [332]. Распределение их средней многолетней концентрации представлено на рис. 4.22. На взморье р. Дунай и в Днепровско-Бугском лимане различия между концентрациями ингредиента на разных горизонтах не превышали точности определения (25 мкг/л) и составляли от неё 0–20 % (из-за процессов сорбции песчано-илистыми отложениями и других факторов самоочищения). В морском устье р. Чёрной распределение СПАВ было более контрастным, так как в основном они поступали не из р. Чёрной (как в устьях рек Дунай и Днепр), а с урбанизированного побережья бухты, в результате централизованных сбросов и смыва [253]. Так как распределение концентрации СПАВ по глубине было однородным, схемы, представленные на рис. 4.22, были репрезентативными для всех горизонтов.

Спад промышленного и сельскохозяйственного производства в последние 25 лет отразился на концентрации СПАВ в сточных водах. В этот период повсеместно отмечались значимые отрицательные тенденции концентрации этих веществ (0,5–6 мкг/л в год), причём, уменьшение концентрации СПАВ иногда происходило резко, например, в северной части Бугского лимана (рис. 4.23). Поэтому ряды наблюдений обобщались за последний 20-летний период, когда они были однородными. Если в первый период (рис. 4.23) повсеместно, кроме мелководных станций, средняя многолетняя концентрация СПАВ превышала ПДК (100 мкг/л), то в последнее двадцатилетие концентрация этого ЗВ уменьшилась в 2–8 раз. Возможно, уменьшение концентрации СПАВ было связано с реконструкцией очистных сооружений [104]. Поэтому среднее многолетнее содержание СПАВ, даже в наиболее загрязнённой Севастопольской бухте, не достигало ПДК, а местами, на устьевом взморье р. Дунай и в Днепровско-Бугском лимане, было меньше предела их обнаружения. Однако разовые концентрации этого вещества иногда в 10 раз превышали ПДК [83; 214; 216, с. 408; 226]. По-видимому, полученные результаты (рис. 4.22) подтверждают выводы работы Потипун В.И. [270], в которой обосновывается устойчивость низких concentra-

Рисунок 4.22 – Средняя многолетняя концентрация СПАВ (мкг/л) в воде устьевых взморья рек. Килийского р. Дунай (I), Днепроовско-Бугского лимана (II) и Севастопольской бухты (III)

ций (ниже 100 мкг/л) СПАВ в осолонённых и солёных водах. СПАВ, поступавшие с пресной водой на солоноватоводные устьевые взморья, аккумулировались, достигая здесь наибольшей концентрации, которая уменьшалась при разбавлении более чистой морской водой. Особенности распределения концентрации СПАВ (рис. 4.22) позволяют предполагать, что солёность воды играла в этом определённую роль. Именно в зоне смешения пресных и солёных вод отмечалось наибольшее содержание СПАВ (рис. 4.22), поэтому эту часть устьевых взморьев можно считать зоной их накопления. Здесь же расположена область значительного загрязнения фенолами (рис. 4.21) и нефтяными углеводородами (рис. 4.20).

И хотя концентрация СПАВ в воде морских устьев рек в среднем не превышала ПДК, повторяемость их обнаружения была существенной и составляла 60–70 %.

Наиболее токсичными ЗВ антропогенного происхождения являлись хлорированные углеводороды (ДДТ, ДДЭ, ДДД, α -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, ГПХ, ПХБ и др.), которые в основном выносили устьеобразующие реки Дунай, Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец. В водную среду Севастопольской бухты они попадали с грунтовыми и сточными водами, при смыве с берегов и при их обрушении, эрозионном выносе, с атмосферными выпадениями [253; 332].

В последние 20 лет содержание хлорорганических пестицидов (ХОП) в воде стабилизировалось, значимых тенденций не обнаружено, хотя оценить их можно только приблизительно из-за малой повторяемости обнаружения в пробах воды этого типа ЗВ. В отличие от НУ, фенолов и СПАВ, ХОП обнаруживались в 5–15 % проб (группа ДДТ) и в 30–45 % проб (группа ГХЦГ).

Схемы распределения средней многолетней концентрации ХОП в воде представлены на рис. 4.24. Эти ЗВ распределялись однородно по глубине. В различных морских устьях рек преобладали разные виды хлорированных углеводородов, поэтому на рис. 4.24 приведены распределения концентрации ДДТ (на взморье Килийского рукава р. Дунай), γ -ГХЦГ (в Днепровско-Бугском лимане и Севастопольской бухте) и ПХБ (в Севастопольской бухте). Статистический анализ рядов

Рисунок 4.23 – Многолетняя изменчивость концентрации СПАВ (мкг/л) в районе г. Николаева

наблюдений за другими видами ХОП был менее обоснован из-за недостатка данных и редкого обнаружения ядохимикатов в пробах воды.

В среднем содержание ХОП на устьевых взморьях рек составляло от 0,2 до 25 нг/л (при этом разовые концентрации иногда превышали 1000 нг/л).

Если в структуре загрязнения судходных участков преобладали НУ и фенолы, то в районах впадения водотоков, выпуска сточных вод, в озёрах, плав-

нях и застойных прибрежных акваториях фиксировали ядохимикаты, включая ХОП. Так как их наибольшая концентрация была приурочена к устьевым водотокам рек Дунай и Днепр, очевидно, основная их масса поступала с речным стоком. Отмечалось также локальное повышение концентрации ХОП в районах городов, с развитой сельскохозяйственной зоной. Из рис. 4.24 очевидно, что большие международные реки загрязняли устьевые взморья ХОП, а р. Чёрная, наоборот, способствовала разбавлению загрязнённой воды Севастопольской бухты. Аккумуляция этих токси- кантов, как и ранее рассмотренных, была характерна для зоны смешения речных и морских вод, так как здесь скорость течения и адвекция веществ речным стоком уменьшались.

Подробные результаты анализа изменчивости концентрации различных загрязняющих веществ, дающие представление о средних, экстремальных значениях ингредиентов и других их статистических характеристиках в различных районах устьев рек представлены в работах автора [18; 19, с. 219–226; 123, с. 630–638; 214; 216, с. 389–414; 226; 230].

Сезонный ход концентрации загрязняющих веществ сложный, получить его на всех станциях не удалось из-за малочисленности данных. Только для района г. Николаева, где наблюдения

выполнялись ежедекадно (более 500–1400 определений каждого ингредиента) проанализированы временные изменения концентрации НУ, фенолов, СПАВ и ХОП (рис. 4.25).

Рисунок 4.24 – Средняя многолетняя концентрация хлорированных углеводородов (нг/л) в воде устьевых водоемов р. Дунай (I), в поверхностном (а), придонном (б) слоях Днепровско-Бугского лимана (II) и в воде Севастопольской бухты (III)

Изменение концентрации ЗВ в воде устьевых водотоков и прилегающих частях устьевых водоемов зависело от комплекса гидрометеорологических факторов, которые подвержены сезонным, синоптическим, суточным и прочим колебаниям. Например, при одном и том же объеме сбросов сточных вод, чем больше была водность в устье реки, тем больше была степень разбавления количества поступавших туда со стоками ЗВ и меньше их концентрация.

Обычно зимой, когда преобладало грунтовое питание, снежно-ледяной покров препятствовал обмену загрязняющими веществами с атмосферой, концентрация ЗВ в воде устьев рек устанавливалась на некотором стабильном уровне (при отсутствии аварийных сбросов).

При снего- и ледотаянии происходило разбавление воды рек более чистой талой водой

Рисунок 4.25 – Средняя месячная концентрация ЗВ в поверхностном слое воды северной части Бугского лимана в районе г. Николаева

(особенно, если почва ещё не оттаяла и на ней была ледяная корка), поэтому, с увеличением расхода воды, в феврале–марте концентрация НУ, СПАВ и ХОП была минимальной (рис. 4.25). Лёд и снег тоже накапливали ЗВ, но, как в более «короткоживущей» субстанции (по сравнению с почвой и водой), их количество было меньше, чем в почве, накопление ЗВ в которой происходило большую часть года [39]. Поступление ЗВ осуществлялось и с атмосферными осадками, при этом они были загрязнены в разной степени, что зависело, например, от содержания в них твёрдой фракции атмосферного переноса [14]. Весной, после таяния льда и снега, основным природным источником поступления ЗВ являлся смыв с загрязнённой почвы, поэтому концентрация токсикантов в апреле–мае увеличивалась.

В летне-осеннюю межень в большинстве случаев отмечалось увеличение концентрации ЗВ с увеличением стока, так как оно было обусловлено выпадением жидких осадков, в результате чего смывался загрязнённый слой почвы, о чём свидетельствовал выполненный автором в работах [18; 191; 194; 216, с. 173, 404] анализ совместного хода суммы осадков, расхода, мутности и концентрации отдельных веществ. Определённую роль в загрязнении устьев в этот период играло направление переноса воздушной массы и степень её насыщенности загрязняющими веществами, обмен с донными отложениями, испарение.

Осенью и в начале зимы увеличивалась сумма осадков, смыв с побережий, сбросы с полей, поступление ЗВ в воду рек. Поэтому концентрация ХОП в среднем была больше, чем летом. Загрязнение воды малых рек Крыма в основном зависело от паводочного режима их стока, так как чем больше был смыв с водосбора, тем, обычно, больше была концентрация ЗВ в воде устьев, поэтому максимальные концентрации здесь фиксировались обычно зимой и весной.

Характерным для всех морских устьев рек являлись: существенная изменчивость концентраций рассматриваемых ЗВ, независимость её средних годовых и средних месячных значений от водного стока (исключая район г. Николаева, для которого удалось получить такие зависимости), солёности и температуры воды, а также других абиотических параметров водной среды, включая концентрацию растворённого кислорода, ГЭБЦ и рН.

Из-за указанной многофакторности, в отличие от содержания ГЭБЦ (рис. 4.14), для концентрации ЗВ не был характерен выраженный сезонный ход ингредиентов (рис. 4.25). При анализе внутригодовых изменений концентрации ЗВ (для различных климатических периодов и за весь период наблюдений) установлено, что в любой месяц года может наблюдаться как максимальное, так и минимальное значение концентрации, что свидетельствует о случайности обнаружения различных загрязняющих веществ в водной среде морских устьев рек. Однако выявлены общие черты внутригодовой изменчивости отдельных ингредиентов.

Схожесть внутригодовой изменчивости концентрации СПАВ и НУ на отдельных станциях в морских устьях рек, возможно, связана как с химическими особенностями этих веществ, рассмотренных в работе Совга Е.Е. [332], так и с особенностями отбора проб в местах аккумуляции ЗВ, в районах впадения рек и выпусков сточных вод (например, г. Николаева, рис. 4.25).

Сезонная изменчивость концентрации фенолов оказалась идентична изменчивости концентрации азота аммонийного (рис. 4.25, 4.14). Это может быть обусловлено тем, что концентрации этих веществ увеличивались весной, в период повышенного стока рек (общего источника их поступления на устьевые взморья), и при интенсификации процессов разложения органических веществ осенью. Синхронность сезонной изменчивости концентрации фенолов в северной части Бугского лимана (рис. 4.25) и расхода воды рек Юж. Буг и Ингул подтверждала это предположение (рис. 4.26). Коэффициенты корреляции зависимостей между средней месячной концентрацией фенолов и соответствующим расходом воды составляли 0,74 (р. Юж. Буг) и 0,67 (р. Ингул). Так как солёность воды устьевых взморьев зависела от речного стока (с. 129), именно в зоне его наибольшего влияния и наибольшей изменчивости солёности воды (до 5 ‰ в час) происходили интенсивные биохимические превращения органических веществ в минеральные [69; 166; 361], что и отражалось на сезонной изменчивости их концентрации.

Поступление ХОП в воду происходило во время весенней и осенней обработки сельскохозяйственных культур, тогда и отмечались их максимальные концентрации (рис. 4.25).

Гистограммы распределения концентрации всех ЗВ в различных районах морских устьев рек были крайне асимметричными (рис. 4.27), коэффициенты асимметрии – положительными и существенными (3,5–4,1), причём, они увеличивались по направлению к морю и к вершинам устьев. Ранее, в работах автора [191–193; 323; 431] было показано, что статистические методы, разработанные для нормально-распределённых рядов, не всегда пригодны для оценок распределений гидрохимических характеристик. Положительная асимметрия свидетельствовала о преобладании значений концентрации загрязняющих веществ меньше средних значений: действительно, в 60–80 % случаев на всех станциях превалировали концентрации, не превышавшие средние величины. Эпизодические разливы, аварии и сбросы, приводившие к существенным, иногда катастрофическим, но кратковременным максимумам концентрации ЗВ, имели низкую повторяемость.

Рисунок 4.26 – Зависимость средней месячной концентрации фенолов в районе г. Николаева от среднего месячного расхода воды р. Юж. Буг

Рисунок 4.27 – Гистограмма распределения концентрации γ -ГХЦГ в центральной части Днепроовско-Бугского лимана

Так как оценки выборочных средних и *СКО* были близки между собой, концентрация ЗВ являлась показательно распределённой случайной величиной [66]. Типичный пример распределения концентрации ЗВ показан на рис. 4.27, из которого видно, что средняя величина ингредиента попадала в узкий интервал значений, а «выбросы» имели малый вес в совокупности, обычно не превышавший 20 %. Поэтому экстремумы анализировались отдельно (Глава 5 с. 201–206).

Таким образом, устьевые взморья закрытого типа (Днепроовско-Бугский лиман, Севастопольская бухта), а также часть устьевого взморья р. Дунай (Жебриянская бухта) являлись «накопителями» различных загрязняющих веществ, что было обусловлено их гидролого-гидрохимическими особенностями и антропогенной нагрузкой.

4.5.2 Сток загрязняющих веществ

При расчёте стока ЗВ традиционными методами, путём умножения среднего значения концентрации на норму стока [47], погрешности были существенными [123, с. 579, 586; 192; 216,

с. 415, 418; 227; 228], так как концентрация отдельных ингредиентов в последние 20 лет имела разнонаправленные тенденции (в устьях больших и малых рек), её годовой ход не выделялся, изменчивость была значительной (рис. 4.23, 4.25).

Если средняя годовая концентрация ЗВ практически не зависела от стока воды, то от неё существенно зависел сток ЗВ, так как, в отличие от его водной составляющей, концентрация веществ значительно изменялась от года к году. Вклад изменчивости концентрации отдельных ЗВ в изменчивость стока веществ, в среднем составлял для НУ и ХОП 10–20 %, а для фенолов 35–40 %. Коэффициенты корреляции между стоком загрязняющих веществ и их средней годовой концентрацией были равны 0,83–0,89, а коэффициенты корреляции связей годового стока веществ и воды были существенно меньше.

В связи с этим, предложены другие способы для оценки выноса ЗВ реками. Первый способ заключался в расчёте выноса ЗВ по норме стока, медиане концентрации и повторяемости обнаружения загрязняющих веществ в пробе воды [123, с. 582; 191–193; 227]. Расчёт для рек с дельтами выполнялся в двух вариантах: 1) для каждого рукава в отдельности рассчитывался сток, затем определялся суммарный сток ЗВ; 2) рассчитывалась средняя концентрация ЗВ в устьевых рукавах (так как в среднем преобладало однородное её распределение в их устьях) и вынос определялся по суммарному стоку рукавов. Второй вариант расчёта признан приемлемым [194; 216, с. 415–418; 323]. Замена среднего арифметического значения медианой обоснована тем, что различия в длине рядов и «выбросы» сказываются на ней в меньшей степени, т.е. она является робастной статистической характеристикой [66].

Для уточнения оценки выноса ЗВ с речным стоком (R_p) за многолетний период, сток воды (W – средний сток воды за рассматриваемый период, км³) умножался на эмпирическую вероятность обнаружения ЗВ (p – отношение числа случаев, когда концентрация ЗВ превышала порог чувствительности метода, к общему числу отобранных проб в долях от единицы) и на медиану ряда концентрации вещества в сечении потока (C_{Me} – медиана концентрации в мг/л, рассчитанная для случаев, когда ЗВ в пробе воды было обнаружено). Формула имела вид

$$R_p = p W C_{Me}. \quad (4.6)$$

Такой способ, из-за недостатка данных определений концентрации внутри года, позволял оценить только средний многолетний вынос ЗВ [227]. Достоверность расчёта эмпирической вероятности обнаружения ЗВ была обусловлена длиной ряда наблюдений: чем он был короче, тем точность расчёта повторяемости была меньше. В соответствии с работой [296] средняя погрешность расчёта повторяемости составляла ± 10 %, максимальная ± 25 –30 % [192].

Второй подход базировался на данных многолетних натурных наблюдений в морских устьях рек. Используя результаты гидрохимических анализов проб воды [79; 80; 82; 83] и данные

о расходе воды [78; 81; 83], по авторской методике, изложенной и апробированной в [192; 196; 214; 227] для разных устьев рек, рассчитывался суточный расход (сток) растворённых веществ (R_{pi}) и он связывался со среднесуточным расходом воды (Q_i), с учётом времени добегания от гидрометрического до расчётного створа. Среднее время добегания определялось в соответствии с работой [171]. Например, от вершины устья р. Днепр до устьев рукавов оно составляло 1 сут, от вершины устья р. Юж. Буг до нижней границы устьевого участка реки – около 9 сут. Такой способ расчёта позволял оценивать вынос растворённых веществ в произвольном створе устья с любой дискретностью, независимо от закона распределения исследуемой концентрации и степени её зависимости от стока воды и других природных и антропогенных факторов [227]. Так, средний за сутки сток нефтяных углеводородов (НУ) р. Днепр в Днепро-Бугский лиман был получен по зависимости, имевшей коэффициент корреляции 0,94 и вид

$$R_{pi} = 0,037Q_i - 1,87, \quad (4.7)$$

где R_{pi} – среднесуточный сток (т/сут) НУ в устьях рукавов р. Днепр; Q_i – среднесуточный расход воды р. Днепр в створе Каховской ГЭС (m^3/c), соответствовавший срокам определения концентрации в устьях рукавов р. Днепр. Среднее отклонение рассчитанных по зависимости (4.7) значений суточного стока НУ р. Днепр от фактических, составляло 0,5 т/сут или 2 % от среднесуточной величины. В 94 % случаев ошибка расчёта не превышала допустимой погрешности, рассчитываемой по инструкции [133]. Чем больше был расход воды, тем меньше было отклонение расчётных величин R_{pi} от измеренных. При малых расходах воды, когда в устьевые водотоки могла поступать вода из лимана, теснота связи (4.7) между стоком НУ и расходом воды уменьшалась, из-за увеличения роли концентрации НУ в величине стока НУ. Зависимость между рассчитанными по зависимости (4.7) и измеренными значениями выноса НУ р. Днепр показана на рис. 4.28.

Рисунок 4.28 – Зависимость между рассчитанными и измеренными значениями суточного выноса нефтяных углеводородов р. Днепр в Днепро-Бугский лиман

Аналогичная зависимость применима и для расчёта суточного стока НУ р. Юж. Буг (R_{pi} , т/сут) в Днепро-Бугский лиман [192; 216, с. 431] по среднему суточному расходу воды этой реки у пгт Александровка (Q_i , m^3/c). Она имела

коэффициент корреляции 0,87, обеспеченность проверочных расчётов 87 % и вид

$$R_{pi} = 0,015Q_i + 0,063. \quad (4.8)$$

Применение зависимостей типа (4.7), (4.8) при отсутствии значимых тенденций в изменениях концентрации НУ, в диапазоне значений составляющих, ограниченном имеющимися материалами наблюдений, даёт более точные результаты.

Анализ полученных автором значений ежесуточного выноса загрязняющих веществ (R_{pi} , т/сут) в морские устья различных рек Чёрного и Азовского морей [123, с. 583–585; 192–194; 196; 216, с. 431–432; 227] показал, что они были связаны с соответствующими расходами воды (Q_i , м³/с) зависимостями вида

$$R_{pi} = a \cdot Q_i^b \exp(c \cdot Q_i), \quad (4.9)$$

$$R_{pi} = a \cdot Q_i^b + c, \quad (4.10)$$

$$R_{pi} = a \cdot Q_i \pm b, \quad (4.11)$$

имевшими коэффициенты корреляции и корреляционные отношения в диапазоне 0,72–0,94. Ошибки расчётов были в пределах 10–24 %.

Получив значения среднесуточного выноса по уравнениям (4.7)–(4.11), ежегодный сток веществ рассчитывался по формуле

$$R_p = kp \sum_{i=1}^{n=365} R_{pi}, \quad (4.12)$$

где R_p – сток ЗВ за год; R_{pi} – ежесуточный расход ЗВ; k – коэффициент размерности; i , n – последовательные дни года; p – эмпирическая вероятность обнаружения ЗВ в пробе в долях от единицы, принятая, согласно [192; 227], равной средней многолетней величине (при этом допущении погрешность расчёта была в пределах ± 25 %). Если загрязняющее вещество отмечалось постоянно во всех отобранных пробах, p приравнивалось 1.

Расчёты выноса ЗВ по формулам (4.6) и (4.12) давали идентичные результаты, средние расхождения составляли ± 7 –15 %, максимальные не превышали ± 25 %. Расхождения с результатами, полученными традиционным методом расчёта стока веществ [133; 227], были существенны: средние достигали 30 %, а максимальное 83 %.

Использовать рассмотренные способы оценки стока ЗВ для рек Чёрная и Бельбек невозможно из-за того, что НУ, фенолы, СПАВ и ХОП наблюдались в их воде крайне редко.

Полученные зависимости приемлемы для расчёта стока ЗВ и для восстановления пропусков в наблюдениях, что подтверждает апробация предложенного метода оценки выноса ЗВ на независимом материале по 12-ти устьям рек Азовского моря [227]. Так, например, расчёт ежедневного выноса γ -ГХЦГ р. Кубань у х. Тиховского в 1987 г. свидетельствует о хорошей сходи-

мости измеренных и расчётных величин (рис. 4.29). Средняя ошибка расчёта речного выноса ХОП этой рекой в Азовское море составляла ± 20 г/сут, вероятная (68%) – ± 30 г/сут при среднесуточном выносе γ -ГХЦГ, равном 191 г.

Рисунок 4.29 – Расход воды (—), $\text{м}^3/\text{с}$, расчётный (—) и измеренный (●) расход ХОП, г/сут, р. Кубань (х. Тиховский) в 1987 г.

Так как не для всех рассматриваемых устьевых водотоков удалось получить указанные расчётные формулы, и для сравнения полученных результатов с данными, имеющимися в литературных источниках, в табл. 4.9 приводится сток ЗВ, рассчитанный по методическим рекомендациям [47], традиционным методом, аналогично формуле (4), представленной в работе [287].

Очевидно, что чем больше годовой сток воды, тем и больше был сток ЗВ. Поэтому, несмотря на то, что концентрация НУ и ХОП в воде р. Дунай была меньше, чем в других реках (табл. 4.8), сток этих веществ р. Дунай на устьевое взморье был наибольшим (табл. 4.9).

Таблица 4.9 – Сток загрязняющих веществ в расчётных створах, т/год

Створ реки	Загрязняющее вещество							
	НУ	фенолы	СПАВ	ДДТ	ДДД	ДДД	α -ГХЦГ	γ -ГХЦГ
Дунай	22000	907	4642	69,6	23,2	10,6	59,1	38,0
Днепр	12690	84,6	935	0,13	0,20	0,02	0,02	0,33
Юж. Буг	993	6,32	56	0,002	0,001	0,001	0	0,010
Ингул	82,5	0,62	6,4	0,001	0	0	0	0,001
Ингулец	52,8	0,46	6,2	0,002	0,001	0	0,001	0,001
Бельбек	0,78	0	0,71	0	0	0	0	0
Чёрная	0,63	0	0,47	0	0	0	0	0

Примечание – Вынос веществ менее 0,001 т/год приравнивался 0.

Многолетние изменения стока ЗВ рек Днепр и Дунай с 1976 г. по 2012 г. значимых тенденций не имели, а их вынос р. Юж. Буг уменьшался, что подтверждает оценка значимости трендов

по критерию Фишера. В последние 15–20 лет наметилась общая тенденция уменьшения стока ЗВ в морские устья рек (рис. 4.30).

Рисунок 4.30 –Изменчивость стока НУ (R_p , т/год) рек Днепр (—) и Юж. Буг (—)

Для анализа внутригодовой изменчивости стока веществ (например, НУ) использовались зависимости (4.7), (4.8). Ежемесячный сток НУ рек Днепр и Юж. Буг в Днепроовско-Бугский лиман, осреднённый за многолетний период, представлен на рис. 4.31. Из него видно, что внутригодовая изменчивость стока ЗВ аналогична сезонным изменениям стока рек, что очевидно, так

Рисунок 4.31 – Средний месячный сток нефтяных углеводородов (R_p , т/мес.) в Днепроовско-Бугский лиман

как одной из основных составляющих выноса загрязняющих веществ являлся сток воды.

Структура стока загрязняющих веществ показана на рис. 4.32. По преобладающим ЗВ в их стоке выделялось три группы рек. Четыре пятых выноса ЗВ р. Дунай составлял сток НУ (79%),

остальную часть – сток СПАВ (17 %), фенолов (3 %) и ХОП (около 1 %).

Доля переносимых этой рекой фенолов была в 3 раза больше соответствующей доли в стоке ЗВ других рек. Для рек, впадающих в Днепроовско-Бугский лиман, также характерно преобладание в выносе НУ, доля которых была наибольшей и составляла 89–94 %, 5–10 % приходилось на

СПАВ, около 1 % – на фенолы, доля ХОП в суммарном выносе загрязняющих веществ не превышала 1 %. Реки Бельбек и Чёрная выносили примерно поровну НУ (52–57 %) и СПАВ (43–48 %). Хлорорганические пестициды за рассматриваемый период в расчётных створах рек Бельбек и Чёрная не наблюдались.

Рисунок 4.32 – Структура выноса загрязняющих веществ
1 – НУ, 2 – СПАВ, 3 – фенолы, 4 – ХОП

Для сравнения стока ЗВ различными реками был рассчитан модуль стока ЗВ (рис. 4.33). Оказалось, что его величина пропорциональна площади водосбора и стоку растворённых веществ. В отличие от модуля ГЭБЦ, который не столько зависел от смыва с водосбора, сколько от поступления сточных вод, модуль ЗВ, в большей степени, был связан с площадью водосбора, так как загрязняющие вещества антропогенного происхождения (НУ, СПАВ, фенолы и ХОП) поступали в основном с территории водосбора.

В системах очистки и канализования сточные воды подвергались очистке до уровня ПДК и ниже. Кроме того, объёмы промышленных сбросов были лимитированы. Поэтому выявленные зависимости модулей стока НУ (4.13) и СПАВ (4.14) от площадей водосборов рек северного Причерноморья имели более высокие корреляционные отношения (0,93–0,95), чем аналогичные зависимости, полученные для фосфатов (4.5), они носили нелинейный характер и были следующего вида:

$$M_{\text{НУ}} = 0,0034 \ln(F) - 0,0216, \quad (4.13)$$

$$M_{СПАВ} = 0,001e^{2 \cdot 10^{-6} F}, \quad (4.14)$$

где $M_{НУ}$ – модуль стока нефтяных углеводородов, т/км²; $M_{СПАВ}$ – модуль стока СПАВ, т/км²; F – площадь водосбора, км².

Полученные зависимости (4.13), (4.14) могут использоваться для малоизученных рек северного Причерноморья с целью приближённой оценки модуля стока ЗВ, его последующего картирования и оценки антропогенной нагрузки в соответствии с работами [280; 287].

Рисунок 4.33 – Модуль стока загрязняющих веществ (ЗВ), т/км² в год

По модулю стока НУ, согласно работе [280], малая антропогенная нагрузка была характерна для рек Чёрная, Бельбек и Ингулец, умеренная – для р. Ингул и критическая – для рек Дунай, Днепр и Юж. Буг.

Отсутствие современных данных о стоке и концентрации ЗВ в морских устьях ряда рек является препятствием для оценки их поступления в Чёрное и другие моря. Приближённое решение этой задачи (на примере среднего многолетнего выноса реками НУ) может быть выполнено способом, апробированным для Чёрного моря [228]. Исходя из предпосылок, что большим площадям водосборов (за небольшим исключением) соответствовали большие площади загрязнения НУ из различных источников, большой сток, а, следовательно, и большие величины поступления этих загрязняющих веществ в устья рек, получены статистические зависимости между стоком НУ (R_p) и площадями водосборов рек (F). В соответствии с критериями, приведенными в [287], качество полученных связей хорошее, коэффициенты корреляции и корреляционные отношения составляли 0,86–1,0 (табл. 4.10). Зависимости $R_p = f(F)$ установлены для устьев рек по отдельным районам Чёрного моря (таких районов выделено 6), имеющим региональные особен-

ности формирования стока.

Таблица 4.10 – Формулы для расчёта среднего многолетнего выноса НУ реками в Чёрное море (R_p , тыс. т/год) в зависимости от стока рек (W , км³) и площадей водосборов (F , км²)_p

Номер района	Зависимость выноса НУ от стока рек		Зависимость выноса НУ от площади водосбора	
1	$R_p = 0,13 W$	(0,99±0,03)	$R_p = 3 \cdot 10^{-5} F$	(0,99±0,03)
2	$R_p = 10^{-5} e^{59,7W}$	(0,91±0,05)	$R_p = 10^{-6} F + 3 \cdot 10^{-6}$	(0,86±0,15)
3	$R_p = 0,011 W + 0,002$	(0,95±0,01)	$R_p = 2 \cdot 10^{-5} F$	(0,99±0,02)
4	$R_p = 0,02 W$	(0,99±0,007)	$R_p = 4 \cdot 10^{-5} F$	(1,00±0,00)
5	$R_p = 0,03 W$	(0,87±0,04)	$R_p = 2 \cdot 10^{-5} F$	(1,00±0,00)
6	$R_p = 0,054 W - 0,063$	(0,92±0,04)	$R_p = 0,10 \ln F - 0,86$	(0,99±0,04)

Примечания

1. В скобках показаны коэффициенты корреляции, корреляционные отношения и их ошибки расчёта.
2. Районы: 1 – Северо-Западный район, включая р.Днепр (Украина) и р. Резовска (Болгария); 2 – реки Крыма (Россия); 3 – Восточный район, включая р.Сукко и р. Мзымта (Россия); 4 – Восточный район, между р. Псоу (Россия–Абхазия) и р.Галидзга (Абхазия); 5 – Юго-восточный район, включая р. Окуми (Абхазия) и р.Харшит (Турция); 6 – Южный район, между р.Харшит (Турция) и р.Резовска (Болгария).

Наилучшие связи получены для Северо-Западного и Восточного районов Чёрного моря (средние отклонения значений от линий связи не превышали 9 %, максимальные достигали 18 %), наихудшие – для рек Крыма и Южного района (средние ошибки составляли 22–60 %, максимальные достигали 86–100 %). Расхождение с традиционным методом оценки выноса НУ не превышало ± 4 %: по зависимостям $R_{НУ} = f(F)$ он был равен 46,3 тыс. т/год, по [287] – 44,6 тыс. т/год.

4.5.3 Баланс загрязняющих веществ Днепровско-Бугского лимана

Недостаток наблюдений препятствовал определению баланса ЗВ для всех рассматриваемых морских устьев рек, поэтому оценка его составляющих сделана только для наиболее изученной части морского устья рек Днепр и Юж. Буг – Днепровско-Бугского лимана. Для остальных морских устьев рек была оценена только одна адвективная составляющая баланса ЗВ – вынос НУ, СПАВ, фенолов и ХОП реками на устьевые взморья (табл. 4.9).

В настоящее время оценить все составляющие баланса ЗВ Днепровско-Бугского лимана невозможно из-за недостатка материалов наблюдений, поэтому рассчитывались только адвективные составляющие (поступление со стоком рек и обмен веществами с открытой частью устьевого взморья), играющие основную роль в балансе веществ лимана. Результаты расчётов приведены в табл. 4.11.

Расхождения между данными, приводимыми в табл. 4.11, и в работе [216, с. 428] объясняются выбором разных методов оценки выноса ЗВ через Кинбурнский пролив. Ранее автором

Таблица 4.11 – Составляющие баланса ЗВ Днепровско-Бугского лимана, т/год

Составляющая баланса ЗВ		Загрязняющее вещество							
		НУ	фенолы	СПАВ	ДДТ	ДДЭ	ДДД	α-ГХЦГ	γ-ГХЦГ
суммарный вынос реками		13800	92,0	998	0,13	0,20	0,02	0,02	0,34
обмен через Кинбурнский пролив	П	19500	118	1120	0,17	0,20	0,03	0,03	0,34
	О	4490	21,8	136	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
	Р	15000	96,2	985	0,13	0,19	0,02	0,02	0,32
невязка баланса		-1220	-4,24	13,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
содержание в лимане		1110	6,04	106	0,002	0,01	0,001	0,00	0,003

Примечания

1. П, О, Р – Прямой, обратный и результирующий перенос ЗВ через пролив.
2. Вынос ЗВ менее 0,001 тонн приравнивался нулю.

перенос ЗВ через Кинбурнский пролив рассчитывался по непосредственным определениям не только водообмена, но и концентраций ЗВ в проливе. Но более детальный анализ изменчивости растворённых веществ, показал, что это приводило к существенным погрешностям расчёта [220], так как в районе пролива разнородные водные массы перемешивались, и средние концентрации ЗВ прямого и обратного потоков не точно характеризовали вынос ЗВ из лимана и их поступление из моря. Поэтому для расчёта средней концентрации прямого (П) и обратного потоков (О) использовался метод, рекомендованный в работе [281], с учётом полученных автором данных о стратификации воды в лимане. Средняя концентрация ЗВ прямого потока принималась равной средней взвешенной в слое воды, перемещавшейся в море, от поверхности до слоя скачка плотности, обратного – поступавшей в лиман ниже слоя скачка. Расчёт современного баланса ЗВ (табл. 4.10) сделан впервые, поэтому литературных источников для сравнения полученных результатов с более ранними результатами нет.

Применение такого метода расчёта баланса веществ существенно уменьшило его невязку. Оказалось, что поступление ЗВ с реками примерно равно их выносу из лимана в открытую часть взморья, за исключением НУ и фенолов, так как они аккумулировались в лимане. В отличие от ГЭБЦ (табл. 4.7), содержание которых в лимане уменьшалось на 5–10 %, ЗВ почти не деструктировали (табл. 4.11), а вынос НУ и фенолов через Кинбурнский пролив даже превалировал, на 5–9 %, над их поступлением со стоком рек. Вероятно, это связано с недоучётом поступления НУ (и др. ЗВ) в лиман со сточными водами, при судоходстве, расчистке судоходного канала, дампинге грунта в лимане и из других неучтённых источников. В расходной части баланса ЗВ не учтено их депонирование в грунтах и другие расходные составляющие.

ГЛАВА 5 ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В МОРСКИХ УСТЬЯХ РЕК

Противоречивая, часто заменяемая и недостаточно разработанная терминология (Глава 2, с. 53–57), а также применяющаяся номенклатура и классификации опасных процессов и явлений (табл. 5.1), затрудняют их практическое использование, препятствуют систематизации опасных явлений за многолетний период и тормозят их эффективное исследование. Особенно это касается морских устьев рек, наиболее уязвимых для негативных природных воздействий и последствий нерационального природопользования, так как устья активно осваиваются, а их ландшафт значительно изменяется под совместным влиянием факторов среды.

Таблица 5.1 – Фрагмент классификации опасных явлений в нормативных документах и научной литературе

Аббревиатура, год	Термин и определение, источник информации
ОЯ, 1955–1971	<i>Опасное гидрологическое явление</i> – гидрологическое явление в такой стадии развития, когда оно, достигая определённых значений (показателей опасности) может, если не будут приняты должные меры предосторожности, нанести народному хозяйству и населению ущерб, принимающий иногда размеры бедствия, вследствие затопления, разрушения, сноса, повреждения или нарушения нормальной эксплуатации различных хозяйственных объектов [1, с. 5]
ООЯ, 1972–1985	<i>Особо опасные гидрометеорологические явления</i> – явления, которые по своей интенсивности, времени возникновения, продолжительности и площади распространения могут нанести или нанесли значительный ущерб народному хозяйству и населению, а также явления, которые могут вызвать или вызвали стихийные бедствия [2, с. 1]
СГЯ, 1986–1998	<i>Стихийные гидрометеорологические явления</i> – (особо опасные гидрометеорологические явления) метеорологические, агрометеорологические, гидрологические и морские гидрометеорологические явления, которые по своей интенсивности, району распространения и продолжительности могут нанести или нанесли ущерб народному хозяйству, населению и вызвать стихийные бедствия [3, с. 3]
РИП, 1986, 1994	<i>Резкие изменения погоды</i> – изменения условий погоды, при которых метеоявления по интенсивности не достигают критериев стихийных, но могут затруднить или облегчить в отдельные периоды производственную деятельность основных отраслей народного хозяйства [3, с. 4]
СОЯ, 1994	<i>Сочетание опасных явлений</i> – одновременное протекание двух или более опасных явлений [4, с. 4]
ОПЯ, 1995	<i>Опасное природное явление</i> – событие природного происхождения или результат деятельности природных процессов, которые по своей интенсивности, масштабу распространения и продолжительности могут вызвать поражающее воздействие на людей, объекты экономики и окружающую природную среду [5, с. 2]
ОГЯ, 1995	<i>Опасное гидрологическое явление</i> – событие гидрологического происхождения или результат гидрологических процессов, возникающих под действием различных природных или гидродинамических факторов или их сочетаний, оказывающих поражающее воздействие на людей, сельскохозяйственных животных и растения, объекты экономики и окружающую природную среду [5, с. 5]

Аббревиатура, год	Термин и определение, источник информации
ОЯ, 2002	<i>Опасное гидрометеорологическое явление</i> – метеорологическое, агрометеорологическое, гидрологическое и морское гидрометеорологическое явление и (или) комплекс гидрометеорологических величин, которые по своему значению, интенсивности или продолжительности представляют угрозу безопасности людей, а также могут нанести значительный ущерб объектам экономики и населению [6, с. 2]
НГЯ, 2002	<i>Неблагоприятное гидрометеорологическое явление</i> – гидрометеорологическое явление, которые значительно затрудняет или препятствует деятельности отдельных предприятий и отраслей экономики и по своим значениям не достигает критериев ОЯ [6, с. 2]
СГЯ, 2003	<i>Стихийные гидрометеорологические явления</i> – атмосферные явления, которые по своей интенсивности, периоду возникновения, продолжительностью и площадью распространения могут причинить или уже причинили значительный ущерб хозяйству страны и населению [7, с. 1]
ОЯ, 2003	<i>Опасные гидрометеорологические явления</i> – явления погоды, которые при достижении определённых значений (или в случае их появления) могут нарушить производственную деятельность некоторых отраслей национальной экономики, но по своей интенсивности, продолжительности и району распространения не достигают критериев СГЯ [7, с. 1]
РИП, 2003	<i>Резкие изменения погоды</i> – изменения условий погоды, при которых метеорологические явления по своей интенсивности и продолжительности могут не достигать критериев опасных или стихийных, но при этом существенно сказываются на деятельности некоторых отраслей национальной экономики [7, с. 2]
ОЯ, 2008	<i>Опасное природное явление</i> – гидрометеорологическое или гелиогеофизическое явление, которое по интенсивности развития, продолжительности или моменту возникновения может представлять угрозу жизни или здоровью граждан, а также может нанести значительный материальный ущерб [8, с. 4; 9, с. 3; 10, с. 4]
ОМЯ, 2009	<i>Опасные метеорологические явления</i> – природные процессы и явления, возникающие в атмосфере и/или у поверхности Земли, которые по своей интенсивности (силе), масштабу распространения и продолжительности оказывают или могут оказать поражающее воздействие на людей, сельскохозяйственных животных и растения, объекты экономики и окружающую природную среду [9, с. 3]
НГЯ, 2013	<i>Неблагоприятное гидрометеорологическое явление</i> – метеорологическое, гидрологическое, агрометеорологическое или морское гидрометеорологическое явления, которые значительно затрудняют или препятствуют деятельности отдельных отраслей экономики и могут нанести материальный ущерб, но по своим количественным значениям не достигают критериев опасного природного явления [10, с. 3]

Примечания

1 – Положение о каталоге опасных гидрологических явлений, 1955; 2 – Положение о сборе сведений и порядке предупреждений об особо опасных гидрометеорологических явлениях, 1972; 3 – Положение о порядке составления и передачи предупреждений о возникновении стихийных (особо опасных) гидрометеорологических и гелиогеофизических явлений и экстремально высоком загрязнении природной среды, 1986; 4 – Положения про порядок складання та передачі попереджень і донесень про виникнення стихійних явищ, різних змін погоди, поєднання небезпечних явищ та випадків екстремально високого забруднення природного середовища, 1994; 5 – ГОСТ 22.0.03-95, 1995; 6 – РД 52.04.563-2002, 2002; 7 – КД 52.4.3.01-03, 2003; 8 – РД 52.88.699-2008, 2008; 9 – РД 52.27.724-2009, 2009; 10 – РД 52.04.563-2013, 2013

В табл. 5.1 представлена $\frac{1}{3}$ часть понятий, применяемых для классификации опасных явлений различного генезиса. Очевидно, что часть терминов повторялась, но с разной трактовкой: так под ОЯ понималось опасное гидрологическое, гидрометеорологическое или природное явление. При этом, некоторые разнообразные трактовки опасных явлений, как уже отмечалось в статье Магрицкого Д.В. [173, с. 39], были некорректными. Иногда опасные явления отождествлялись с комплексом гидрометеорологических величин [283, с. 2], опасными процессами [76, с. 2–5; 286, с. 3] и др., что неверно, так как явления – фиксируемые на сети наблюдений отдельные стадии природно-антропогенных процессов. С одной стороны, все природные явления – стихийные, независимо от степени их опасности для человека и хозяйства. С другой, в условиях тотального зарегулирования стока рек, активного освоения побережий и загрязнения окружающей природной среды затруднительно дифференцировать природную (стихийную) составляющую опасных явлений, так как они часто имеют природно-антропогенный характер. К тому же, сама трактовка термина «стихия» неоднозначна [173, с. 39]. Поэтому использование термина СГЯ (стихийное гидрометеорологическое явление), введённого вместо термина ООЯ (особо опасное явление), также некорректно. Указание на то, что СГЯ «могут причинить или уже причинили», «могут нанести или уже нанесли» (табл. 5.1), вуалирует степень их опасности, т.е. непонятно, являются СГЯ потенциально или реально опасными явлениями. Введение в практику понятия НГЯ (неблагоприятное гидрометеорологическое явление) представляется излишним. Поскольку НГЯ не достигают уровня ОЯ [283, с. 2; 288, с. 3], т.е. неизвестно, достигнут ли они вообще потенциально опасного уровня, непонятно, какие величины принимать за их критерий. Кроме того, некоторые НГЯ могут не только «значительно затруднять или препятствовать деятельности отдельных отраслей экономики» [288, с. 3], что свойственно всем категориям опасных явлений, но и наоборот, способствовать. Например, половодье или паводок вызывают наводнения, подтопления, разрушение сооружений и, в то же время, способствуют наполнению водохранилищ, «промывке» мелководий, нерестилищ, самоочищению водных объектов, что позитивно сказывается на рыбной отрасли экономики. Штормовое волнение не только препятствует судоходству и разрушает берега, но и способствует аэрации слоя перемешивания, самоочищению воды, образованию пляжей.

Анализ опасных явлений за 1961–2017 гг., характерных для Азово-Черноморского бассейна, показал, что они часто взаимосвязаны и взаимообусловлены. Причём, именно гидрологические явления имеют наибольшую степень взаимообусловленности (рис. 5.1), так как могут, с одной стороны, быть причиной опасных геологических, гидрогеологических, гидрохимических, экологических и техногенных явлений, а с другой, могут развиваться вследствие воздействия на водную среду метеорологических, геологических и техногенных опасных явлений.

Независимо от типа явления по степени опасности их можно разделить на опасные (ОЯ), особо опасные (ООЯ) и катастрофические (КЯ), т.е. вернуться к базовым понятиям (рис. 5.2).

Рисунок 5.1 – Классификация типов опасных явлений и их взаимосвязь

Достижение режимными характеристиками численных критериев ОЯ является потенциально опасным событием, особо опасных критериев – кризисным, критериев КГЯ – катастрофическим событием, бедствием.

Рисунок 5.2 – Классификация опасных явлений по степени опасности

Предлагаемое упрощение терминологии позволяет избежать путаницы в понятиях, даёт более чёткое представление о стадии развития опасного явления (ОЯ – могут нанести вред, ООЯ – его наносят, КГЯ – катастрофа), снимая указанные выше противоречия и неточности, что позволяет повысить эффективность их мониторинга, анализа и прогноза.

Систематизировать опасные явления можно не только по их типам (рис. 5.1) и по степени опасности (рис. 5.2), но и по воздействию на водный объект и хозяйствующие субъекты. Пример систематизации гидрологических явлений по степени их влияния на природную среду морских устьев рек приведен на рис. 5.3. Здесь под опасными гидрологическими явлениями понимаются такие явления, которые обусловлены изменениями объёма (расхода, стока и уровня воды) и/или динамики вод (направления и скорости течения). Аналогичная систематизация по воздействию на окружающую среду, хозяйственную деятельность и человека может быть составлена для любых явлений. Например, опасные гидрохимические явления вызывают изменение качества воды и ограничивают жизнедеятельность гидробионтов.

Рассмотренный принцип систематизации опасных явлений использовался для каталогиза-

ции наиболее типичных для морских устьев рек Чёрного и Азовского морей разнотипных ОЯ и ООЯ, их статистического анализа. На рис.5.4 представлена повторяемость опасных гидрометеорологических и гидрохимических явлений, достигших уровня ОЯ и ООЯ в морских устьях рек северо-западной части Чёрного моря.

Рисунок 5.3 – Систематизация опасных гидрологических явлений по их воздействию на среду морских устьев рек

Исследование причин указанных явлений позволило разделить их на группы: 1) метеорологические; 2) гидрологические; 3) гидрохимические; 4) экологические; 5) техногенные; 6) комплексные; 7) сложного и неуставленного генезиса. Такая систематизация весьма условна, так как опасные явления, зачастую, взаимосвязаны и взаимообусловлены, их комплексность отмечалась рядом авторов [257; 374]. Так, метеорологические опасные явления являлись причиной гидрологических, а те, в свою очередь, вызывали изменения качества воды, что приводило к ухудшению экологического состояния устьевых экосистем. Комплексные явления были обусловлены различными причинами (например, сочетанием паводка, ледохода и нагона, или нагона, проникновения солёной воды и волнения). Кроме того, каждая группа явлений различается не только по генезису и степени опасности, но и по воздействию на среду устьев рек. Так, гидрометеорологические явления, обусловленные изменением погоды, расхода, уровня воды и течений, вызывают подпор, наводнение и обмеление. Они же могут быть причиной деформации дна и берегов, перераспределения стока воды и наносов между рукавами, навалов льда на берега, ледохода и дрейфа

льда. Стратификация и динамика разнородных вод в устьях способствуют осолонению пресноводных или опреснению солоноводных акваторий, проникновению галоклина, возникновению слоя скачка плотности. Эти негативные явления обостряют проблемы водоснабжения, рыбного хозяйства, затрудняют судоходство, приводят к разрушению гидротехнических сооружений, ухудшают качество среды обитания гидробионтов.

Рисунок 5.4 – Повторяемость (%) опасных и особо опасных метеорологических (а), гидрологических (б) и гидрохимических (в) явлений в морских устьях рек

Для более чёткой классификации экстремальных гидрометеорологических явлений в МУР, в соответствии с [184; 248; 250; 275], предложено подразделять их по степени опасности на «критические» (ОЯ), «кризисные» (ООЯ) и «катастрофические» (КЯ), отбросив первые две градации («относительно удовлетворительные» и «напряжённые» [184]): 1) опасное метеорологическое (ОМЯ), гидрологическое (ОГЯ), гидрохимическое (ОГХЯ), экологическое (ОЭЯ) явление – опасное явление, которое при отсутствии защитных мер может нанести ущерб природе, хозяйству или человеку; 2) особо опасное метеорологическое (ООМЯ), гидрологическое (ООГЯ), гидрохимическое (ООГХЯ), экологическое (ООЭЯ) явление – опасное явление, достигшее такой стадии развития, на которой среде, хозяйству или человеку наносится определённый ущерб; 3) катастрофическое метеорологическое (КМЯ), гидрологическое (КГЯ), гидрохимическое (КГХЯ), экологическое (КЭЯ) явление – опасное явление, влекущее существенный материальный ущерб и человеческие жертвы. Класс опасности гидрометеорологического явления определялся традиционно по дости-

жению или превышению отдельными гидрометеорологическими, гидрохимическими и экологическими характеристиками определённых количественных границ – критериев опасности, установленных в соответствии с [76; 263–265; 283; 285; 288], а также «Сводным перечнем опасных и стихийных явлений по Азово-Черноморскому бассейну».

5.1 Метеорологические явления

Метеорологические явления – основной фактор возникновения опасных гидрологических явлений, что общеизвестно [62; 133; 187; 243; 286; 303–306; 374]. Наибольшие по масштабам и ущербам ООМЯ, наблюдавшиеся в морских устьях рек Северо-западного и Крымского климатических районов северного Причерноморья (Глава 2, с. 71–72), это ливни, сильный ветер, сильный туман, град и метель [62; 123, с. 112–125; 143; 168; 216, с. 98–100; 244].

Сильный дождь, ливень – распространённое особо опасное метеорологическое явление. Устья рек Бельбек и Чёрная были более подвержены сильным дождям и ливням, чем устья рек Северо-западного климатического района (Дунай, Днепр и Юж. Буг). Сильные дожди (количество осадков 50 мм и более за 24 часа и менее) выпадали здесь практически ежегодно, в то время как в устье рек Днепр и Юж. Буг они отмечались один раз в 8–10 лет, а р. Дунай – один раз в 5–7 лет. Если в Северо-Западном районе наибольшее количество осадков выпадало летом, то в Крымском районе «сезон дождей» наблюдался в осенне-зимний период, когда число дней с суточным количеством осадков ≥ 20 мм составляло 60 % от годового значения этой характеристики.

Ежегодно отмечался сильный ветер. В Крымском районе ветер достигал особо-опасного уровня (скорость 25 м/с и более) в среднем 7 раз в 10 лет, в Северо-западном – вдвое реже. Летом наблюдались шквалы, смерчи (в Крыму и в устье р. Днепр в среднем 1 раз в 5 лет, в устье р. Дунай 1 раз в 10 лет [18]), с июля по август – грозы, иногда они проходили даже зимой.

Туман наиболее часто отмечался в устье рек Днепр и Юж. Буг, особенно в Бугском лимане. Сильные туманы были характерны для зимы и весны (22 % от общего числа случаев с туманом). Повторяемость сильных туманов была около 5–20 %, а продолжительность в среднем достигала 50–60 дней в году. В устье р. Дунай это явление отмечалось реже, в среднем 30–40 дней с туманом, а в устье рек Чёрная и Бельбек число дней с туманом в году составляло 15–20. Здесь в 5–15 раз реже, чем в Северо-западном районе, был гололёд, изморозь или сложные отложения. В среднем они отмечались 1 раз в год.

Из-за влияния Крымских гор на климат региона, град в морских устьях рек юго-западного Крыма выпадал чаще, чем в устьях рек Дунай, Днепр и Юж. Буг. Иногда он отмечался зимой. В среднем за год наблюдалось до 4–6 дней с градом. Диаметр градин в этом районе был больше, чем в Северо-западном – он достигал 3–5 см, а средний диаметр градин составлял 0,6 см. Вероятность

лет с градом составляла около 75 %, а крупного града – более 50 %. В Северо-Западном климатическом районе вероятность града была равна 60–75 %, крупного града – 20–30 %. В год с градом было до 4 дней (чаще всего в июне), диаметр градин здесь достигал 1 см.

Кроме того, в морских устьях рек отмечались пыльные бури, оптические, электрические или комплексные явления, развивавшиеся в атмосфере. Другие атмосферные явления не достигали уровня опасности и наблюдались реже. В устье рек Днепр и Юж. Буг почти ежегодно были пыльные бури (иногда при сильных ветрах песками заносился фарватер р. Днепр и судоходный канал [156]), а в Крымском регионе – в среднем 1 раз в 2 года.

Сильная жара была наиболее вероятна в июле–августе, вероятность максимальной температуры воздуха 35 °С и выше составляла в Северо-западном районе 50–75 %, в Крымском – 50–70 %. С повторяемостью 10 % такая жара отмечалась в сентябре. Сильная жара (температура воздуха 40 °С и выше) была только в Северо-западном районе, как более континентальном.

Повторяемость типичных ОМЯ и ООМЯ показана на рис. 5.4а.

Во временной изменчивости особо опасных метеорологических явлений (ООМЯ) выделялась 7 и 22-летняя цикличность, особенно характерная для зимних условий, что свидетельствует о гелиофизической обусловленности гидрометеорологических процессов. Максимумы и минимумы ООМЯ повторялись иногда и в другие периоды – от 3-х до 11 лет. Полученные результаты обобщения опасных и особо опасных метеорологических явлений близки к данным более ранних работ [62; 143; 244], так как анализируемые авторами выборки рядов наблюдений достаточно длинные и включают один климатический период [306].

5.2 Гидрологические и другие гидрофизические явления

Характерной чертой гидрологических явлений была их комплексность. Воздействие природных и антропогенных факторов на МУР иногда вызывало такие изменения гидрологических характеристик, в результате которых значительно изменялось не только состояние водного объекта, но и степень воздействия водной среды на русло, берега, хозяйственные объекты, сооружения, экосистему, население и экономику региона. В устьях рек Дунай, Днепр и Юж. Буг наиболее распространённые ОГЯ и ООГЯ были обусловлены изменением уровня воды и изредка ледовыми явлениями, затоплением (заливанием) дельт, сильным нагревом воды, а для устьев рек Бельбек и Чёрная – штормовым волнением, затоплением и подтоплением территорий во время паводков. Особенностью ОГЯ и ООГЯ являлось формирование и развитие в антропогенно-изменённых условиях устьев, что осложняло дифференциацию природной и антропогенной составляющих наблюдавшихся гидрологических явлений.

В большинстве случаев из опасных гидрологических явлений в устьях рек были характерны

изменения уровня воды и волнение, негативно влиявшие на побережье и судоходство. Повторяемость ОГЯ и ООГЯ показана на рис. 5.4б, а последствия этих явлений – на рис. 5.5.

Отдельные ОГЯ и ООГЯ систематизированы и обобщены за имевшийся период наблюдений (с 1976 г. по 2017 г.) впервые. Результаты обобщения представлены в табл. 5.2, 5.3.

ОГЯ и ООГЯ различного генезиса чаще всего фиксировались по аномалиям уровня воды, отклонениям его отметок от критических значений (табл. 5.2). Опасность при повышении уровня воды заключалась в подтоплении коммуникаций, затоплении и разрушении берегов, территории населённых пунктов, построек и сооружений. При спаде уровня и обмелении нарушалось судоходство и водоснабжение. В табл. 5.2. приводятся сведения о количестве опасных отклонений уровня воды от критических, опасных и особо опасных отметок на различных постах в устьях больших

Рисунок 5.5 – Последствия паводка 2006 г. в устье р. Дунай (а) и шторма 2007 г. в Севастопольской бухте (б)
а) фото ДГМО; б) фото Демидова А.Н.

рек. В этой таблице катастрофические отметки уровня не приведены, так как в рассматриваемых МУР катастрофические гидрологические явления в современный период не отмечались. Причины подъёмов и спадов уровня были разными: паводок, половодье, стоны-нагоны, заторы и другие явления, зачастую, их совокупное влияние.

Анализ показал, что все критические отметки при подъёме уровня различного генезиса были меньше максимальных значений уровня воды в 1,3–2,8 раз, а при спаде уровня – выше минимальных в 1,1–2,2 раза. Этому способствовала тенденция размещения различных сооружений, сельскохозяйственных угодий, садов, объектов, жилья в естественно-затапливаемых поймах и на побережьях (р. Днепр, р. Бельбек) без учёта требований нормативных документов и законодательства [44; 45], вопреки объективной гидрологической информации, а также изменение морфометрии устьевых объектов и рельефа местности [200]. Поэтому часто затопление территорий наблюдалось при отметках уровня воды ниже максимальных.

Очевидно, что в устье рек Днепр и Юж. Буг опасных подъёмов уровня было в 3–4 раза больше, чем спадов, а в устье р. Дунай – опасных спадов уровня не отмечалось, либо критерий не был установлен, хотя в 2015, 2017 гг. наблюдалось локальное обмеление реки. На устьевых участках рек основной причиной отклонения отметок уровня воды от критических являлась смена фаз

водного режима (паводки, половодье, межень), на устьевых взморьях – сгонно-нагонные явления.

Таблица 5.2 – Число случаев отклонения уровня воды от критических, опасных и особо опасных отметок в устьях рек Дунай, Днепр и Юж. Буг

Пункт	Отметка уровня воды, см						Общее число ОГЯ и ООГЯ
	критическая		опасная		особо опасная		
	подъём	спад	подъём	спад	подъём	спад	
Устье рек Днепр и Юж. Буг							
Николаев	195	200	28	57	нб	–	85
Парутино	19	20	8	14	1	–	23
Херсон	19	28	18	6	нб	–	24
Касперовка	54	8	53	8	нб	–	61
Станислав	34	2	13	1	2	–	16
Геройское	105	7	62	4	5	3	74
Очаков	165	14	48	8	нб	нб	56
Всего	591	279	230	98	8	3	339
Устье р. Дунай							
Рени	35	–	21	–	нб	–	56
Измаил	45	–	39	–	2	–	86
Вилково	52	–	45	–	3	–	100
Усть-Дунайск	18	нб	12	нб	нб	–	30
Приморское	14	нб	5	нб	3	–	22
Всего	164	нб	122	нб	8	–	294

Примечания

1. «нб» – Явление не наблюдалось.
2. «–» – Критерий опасности не установлен.

Когда нагонные явления сочетались с паводком или половодьем, а сгоны – с меженным периодом, значения отклонений уровня от критических, опасных или особо опасных отметок увеличивались. За период с 1976 по 2012 г. один раз в водотоках дельты р. Дунай отмечались зажорно-заторные явления, вызвавшие подъём уровня воды выше критических отметок. В отдельные годы ОГЯ не наблюдались, а иногда фиксировались по 20–40 раз в год. Например, в г. Измаиле с 1982 по 2005 г. опасных отклонений уровня воды от критических отметок не было (несмотря на паводок 2002 г.), а в многоводном 2006 г. уровень воды превысил опасные отметки в 37 случаях, особо опасные – в 2 случаях. В устье рек Днепр и Юж. Буг опасные отклонения уровня воды от критических отметок наблюдались почти ежегодно на постах (по периметру лимана) в г. Николаеве, с. Касперовке, с. Геройском и г. Очакове. Такие особенности свидетельствовали о преобладающем влиянии сгонов-нагонов на развитие опасных подъёмов и спадов уровня в Днепро-Бугском лимане и значительных паводков на устьевом участке р. Дунай. По данным Михайлова В.Н. и Морозова В.Н. [52] в последнее время более частыми стали экстремальные паводки, обусловленные климатическими факторами (потеплением и увеличением количества осадков, выпадавших на водосбор реки) и вызывавшие наводнения в низовьях р. Дунай.

Средние и максимальные отклонения уровня воды от критических отметок в морских устьях больших рек, представленные в табл. 5.3, свидетельствуют о том, что средние отклонения уровня воды при его подъёме в устье р. Дунай были больше, чем в устье рек Днепр и Юж. Буг. Это было обусловлено как величиной стока, так и преобладанием в период повышенной водоносности рек нагонных для взморья р. Дунай и сгонных для Днепровско-Бугского лимана ветров [123, с. 109]. Поэтому нагоны в устье р. Дунай превышали нагоны в устье рек Днепр и Юж. Буг, и спад уровня при сгонах в Днепровско-Бугском лимане достигал критических отметок (табл. 5.3), а на взморье р. Дунай опасных спадов уровня воды не отмечалось. Таким образом, ОГЯ и ООГЯ, проявлявшиеся в отклонении уровня воды на устьевых взморьях, обычно были вызваны действием сильных ветров, которые достигали критериев ОМЯ и ООМЯ, т.е. эти явления развивались в комплексе.

Таблица 5.3 – Характеристики подъёма и спада (с минусом) уровня воды

Характеристика	Морское устье рек	
	Дунай	Днепр и Юж. Буг
отклонение уровня, см		
средний	23	10/-8
наибольший из средних	34	20/-12
средний из наибольших	52	45/-30
абсолютный максимум	74	71/-87
продолжительность явления, час		
средняя	44	8/11
наибольшая из средних	83	13/19
средняя из наибольших	81	49/37
абсолютный максимум	487 ^{*)}	128/76

Примечания

1. ^{*)} – Продолжительность высокого стояния уровня воды при заторе.
2. Для устья рек Днепр и Юж. Буг в числителе приведены отклонения уровня и продолжительность подъёма, в знаменателе – спада уровня воды.

Чаще всего отклонения уровня от критических отметок были небольшими, в пределах 5–10 см (повторяемость 60–85 %), как при нагонах, так и при сгонах. В связи с тем, что случаи опасных сгонов были редки, а на устьевом взморье р. Дунай вообще не отмечались (табл. 5.2, 5.3), рассчитать их повторяемость пока затруднительно, за исключением водпоста в г. Николаеве (рис. 5.6). Повторяемость отклонения уровня воды более ± 50 см от критической отметки на водпосту в г. Николаеве составляла при нагоне 1 %, при сгоне – 3 %; в с. Станислав и г. Херсон при нагоне – 12 и 6 % соответственно; на других постах таких отклонений уровня не отмечалось. Уровень воды повышался на 20 см над критической отметкой в устьях рек Дунай и Днепр в 7–12 % случаев, на 30 см в 3–5 % случаев; повторяемость его понижения в устье рек Днепр и Юж. Буг на те же величины составляла 16 и 6 % соответственно. Наибольшие отклонения уровня воды от критических

отметок при его подъёме в устьях больших рек достигали 70–75 см; наибольший спад (87 см) был зафиксирован в г. Николаеве в декабре 1991 г. (продолжительность явления 32 часа). Продолжительность опасного стояния уровня воды в устье р. Дунай была больше, чем в устье рек Днепр и Юж. Буг, особенно при заторно-зажорных явлениях и совпадении паводка с нагоном (табл. 5.3). Средняя продолжительность подъёма или спада уровня в устье рек Днепр и Юж. Буг составляла 5–20 ч, р. Дунай – более суток (обычно, несколько суток в разные периоды года во время паводков и нагонов). Опасные явления в устье р. Дунай, связанные с подъёмом уровня, продолжались 10–30 дней. Например, при заторе в феврале 1985 г. опасный подъём уровня воды в г. Рени продолжался 18, а в г. Вилково – более 20 суток. Это обусловлено тем, что сгонно-нагонные явления, в основном вызывавшие изменение уровня воды в устье рек Днепр и Юж. Буг, менее продолжительные, чем половодье и паводки на р. Дунай, являвшиеся основной причиной повышения уровня в устьевых водотоках, которое бывало продолжительным при сочетании паводка с нагоном. Максимальная продолжительность стояния опасного уровня у г. Херсона при нагоне и половодье достигала 128, а при заторе у г. Вилково – 427 ч.

Ущерб хозяйству приносили не только опасные изменения уровня воды, но и наводнения, приводившие к затоплению низовьев рек. Они являлись наиболее опасными и частыми последствиями как стихийных гидрометеорологических явлений, так и нерационального природопользования. Наблюдения за этими явлениями в настоящее время не производятся. Однако по имевшимся данным, включая исторические, наводнения в устье р. Днепр отмечались ранее почти ежегодно, их максимальные значения имели периодичность 7–11 лет. Сооружение водохранилищ на реках нарушило эту закономерность, так как сток стал более регулируемым, но наводнения, хотя и реже, всё же отмечались. Аварийные сбросы из водохранилищ (или аварии водовода, как например, в 1999 г. в бассейне р. Бельбек) также наносили значительный ущерб, оценивались как ОЯ или ООЯ неприродного происхождения и относились к категории техногенно-гидрологических.

Затопление обычно наблюдалось в дельтах рек Дунай и Днепр, на устьевом участке р. Бельбек (где это явление не изучалось из-за отсутствия пункта наблюдений) и было особенно опасно при повышении уровня из-за паводков и нагонов. На р. Дунай дельта затапливалась почти ежегодно. В устье р. Бельбек наводнения в период паводков были опасны в сочетании с аварийными сбросами и нагоном, когда затапливалась пойма, застроенная жильём. Иногда, затопление здесь сочеталось с негативными гидрогеологическими и экзогенными процессами (подтоплением территорий, заболачиванием, размывом берегов, обрушением склонов и пр. [198–200]). Затопление и подтопление прибрежных территорий, отмечались в разной степени во всех рассматриваемых МУР, иногда в комплексе. Причиной этих явлений было сочетание природных и антропогенных факторов. Строительство объектов, сооружений и жилья в естественно-затапливаемых и подтапливаемых поймах и на побережьях МУР, которое началось раньше, чем было предусмотрено его ограничение Водными кодексами России и Украины [44; 45; 200], способствовало этому. Поэтому проблемы затопления и подтопления территорий и населённых пунктов были связаны не только с опасными гидрометеорологическими и гидрогеологическими явлениями, но и с хозяйственной деятельностью. Причём, опасные явления этой категории в устьях рек наблюдались и не при экстремальных значениях гидрометеорологических характеристик. Неправильная планировка пойм, спрямление русел, сооружение дамб, подсыпка грунта и избыточное орошение – и породили ряд серьёзных проблем, принесли значительный материальный ущерб, осложнили жизнь и хозяйственную деятельность в рассматриваемых устьях. Так, в устьях р. Бельбек (п. Любимовка) и р. Дунай (г. Вилково и др.) подтопление стало систематическим.

Изменение уровня воды сопровождалось изменением скорости течения. В отдельные периоды внезапные значительные изменения уровня воды и скорости течения сочетались с ветровой активностью, ледовыми и другими явлениями, что, зачастую, способствовало увеличению степени опасности гидрометеорологических явлений, придавало им комплексный характер. Большие скорости течения не всегда соответствовали наивысшим уровням воды, особенно при переполнении русла и выходе воды на пойму, а также сгонах. Поэтому уровень воды иногда не достигал критической или опасной отметки, а скорость потока была существенной. Значительная скорость течения вызывала размыв русел и берегов (р. Бельбек, р. Дунай), перенос крупных наносов, деревьев, ледового материала и др., что представляло опасность для судоходства, строений, сооружений и объектов на берегу, препятствовало осуществлению хозяйственной деятельности (рис. 5.5). Сильные течения периодически отмечались в водотоках р. Днепр, Кинбурнском проливе и сужениях Днепровско-Бугского лимана, на некоторых участках нижнего течения рек Бельбек и Дунай (Глава 3). При размыве берегов во время паводков (или аварийных сбросов) изменялась русловая сеть устьев. Например, краткосрочное, но значительное увеличение скорости течения вызывало

промыв новых русел, особенно в устьевой части водотоков, размыв кос (в устье р. Дунай) и волноприбойного вала (в устье р. Бельбек).

На осуществлении хозяйственной деятельности негативно сказывалось и быстрое уменьшение скорости течения, вызывавшее отложение руслоформирующих наносов и другого транспортируемого рекой материала и предметов. Заиление русел было характерно для низовьев р. Черной, водотоков в дельтах рек Дунай и Днепр. Интенсивно заиливались каналы в устье р. Дунай, Днепро-Бугском лимане, что требовало дополнительных средств на их реконструкцию.

Знания о размывающей и заиляющей скорости потока в МУР ограничены. На пути к решению задачи по обобщению результатов измерений экстремумов выполнен анализ наибольших и наименьших скоростей течений в устье рек Днепр и Юж. Буг. В устьях других рек материалов наблюдений пока недостаточно для достоверных статистических оценок. Распределение экстремумов в различных точках Днепро-Бугского лимана показано на гистограммах (рис. 5.7).

Рисунок 5.7 – Повторяемость (%) экстремальных скоростей течения в Днепро-Бугском лимане

В устьях судоходного канала в районе с. Станислав и г. Очакова, а также у Кинбурнской косы скорость течения иногда достигала 1,00 м/с и более. Повторяемость больших значений скорости течения (от 1,25 до 1,50 м/с) в различных частях Днепро-Бугского лимана

изменялась от 0,2 до 1,3 %. Это было связано с тягуном, возникновению которого способствовали сгонно-нагонные явления, сейши и зыбь, особенно при их резонансе. Тягун затруднял швартовку, погрузочно-разгрузочные работы, ограничивал навигацию и работы в районах узких глубоководных судоходных каналов (например, в Кинбурнском проливе, портах), так как он вызывал значительные горизонтальные перемещения судов вдоль судоходного канала. При этом скорость течения иногда достигала 2–6 м/с. Это явление отмечалось в портах городов Севастополь, Очаков и у причалов с. Парутино. Большие скорости течения вызывали размыв берегов, дна, русел и бровок судоходного канала, материал размыва сносился в открытую часть устьевого взморья. Но, так как в данном морском устье рек преобладала двухслойная циркуляция вод (рис. 3.6), обратный поток в придонном слое способствовал переотложению наносов вдоль канала и его заилению.

Застойность, обусловленная небольшой скоростью течения (менее 0,05 м/с), имела большую повторяемость, чем повторяемость максимальных скоростей течения, она на разных станциях составляла 1–14 %, что связано с преобладанием разнонаправленных потоков, на границе

между которыми скорость течения уменьшалась до нуля. При этом в 38,9 % случаев течение либо полностью отсутствовало, либо его скорость была ниже порога чувствительности измерителя течений (рис. 5.7). Такие условия способствовали заилению судоходного канала и мелководий лимана вдоль левого берега, что негативно сказывалось на его экологии и условиях судоходства, а в перспективе это может привести к обмелению лимана (Глава 7, с. 309).

При ледовых явлениях сильные течения вызывали густой ледоход и сильный дрейф льда в рукавах рек Дунай и Днепр, в Кинбурнском проливе, что представляло опасность для судов, берегов и построек на них. И в этом случае явление было комплексным.

Ледовые условия в рассматриваемых МУР, в основном, не отличались суровостью и продолжительностью, они отмечались обычно в Северо-Западном климатическом районе, особенно в устье рек Днепр и Юж. Буг (Глава 3, с. 108–111). Здесь, иногда (в 11 % наблюдавшихся ледовых сезонов), ледовые явления принимали черты ОГЯ и даже ООГЯ: толщина льда достигала значительных величин (около 1 м), отмечалось торосообразование (в суровые зимы с вероятностью 20–40 %), навалы льда на берега (высотой несколько метров), заторы и густой ледоход в водотоках (с вероятностью 45–75 % и средней продолжительностью 5 сут.). На устьевом взморье, особенно в Кинбурнском проливе, опасный дрейф сплочённого льда имел вероятность 5–10 %. В некоторые ледовые сезоны (такие, как 1928/1929 гг., 1953/1954 гг., 1984/1985 гг., 1986/1987 гг., 1995/1996 гг.) лёд в Днепровско-Бугском лимане был труднопроходим для буксиров и ледоколов [190; 216, с. 335–336].

Редкое опасное явление, сплошной ледостав с торосами, наблюдалось и в устье р. Дунай (1 раз в 50–70 лет). Например, сочетание низкой осенне-зимней межени 2011 г., вызвавшей обмеление судоходных путей на р. Дунай и прекращение навигации, и холодной зимы 2011/2012 гг. привело к полному замерзанию р. Дунай и прекращению зимней навигации. Толщина льда достигала 30–50 см, а в торосистых образованиях – 2–3 м. Это опасное явление вызвало зажатие судов льдами и образование заторов. Угроза затопления г. Вилково, возникшая из-за заторообразования, была предотвращена с помощью ледоколов. Наиболее опасными были заторы в устье р. Дунай, имевшем 23 затороопасных участка [55]. Они вызывали целый комплекс негативных последствий: повышение уровня воды, затопление территорий, напор льда, а затем, ледоход. Например, катастрофический затор в феврале 1969 г., когда при нагонном ветре это явление осложнилось дрейфом морского льда, его смерзанием и торошением в устьях рукавов, вызвал повышение уровня воды, затопление г. Вилково, рыбацких посёлков и островов Килийской дельты. Толщина льда в устьевых водотоках р. Дунай достигала 60 см, а в теле заторов смерзшиеся торосистые образования имели толщину 6–9 м. Вероятность ледохода в водотоках р. Дунай составляла 76 %, и он обычно сопровождался зажорами и заторами льда, но при этом подъём уровня не всегда достигал критических отметок. Наибольшую опасность представлял густой ледоход в устьях рукавов, ко-

торый в среднем продолжался около 10 суток, а его вероятность составляла 28 %. Заторы, которые можно отнести к ООЯ, наблюдались в низовьях р. Дунай в среднем 1 раз в 10–11 лет.

Опасным было и такое гидрометеорологическое явление, как обледенение, особенно для судов и платформ [62; 123, с. 114–115]. В устьях рек иногда происходило намерзание практически пресной воды, поэтому лёд был вязкий и прочно прилипал к металлическим конструкциям.

Волнение, хотя и незначительное, представляло опасность для малотоннажного флота, маломерных судов, лёгких плавсредств, берегов, прибрежных строений и сооружений. Как показали исследования влияния неблагоприятных гидрометеорологических условий на работу порта Николаев [340], выполненные автором, волнение препятствовало погрузочно-разгрузочным работам. Опасная высота волны в Днепровско-Бугском лимане, 1,3 м, имела небольшую повторяемость (менее 1 %), но в открытой части устьевого взморья также, как и на устьевом взморье р. Дунай, отмечались волны, достигавшие высоты 3,5–4,0 м, что являлось ООЯ. Опасное ветровое волнение в лимане было зафиксировано в 1871 г., когда высота волн была равна 2,5 м. Сильное волнение препятствовало рекреации, различным видам хозяйственной деятельности, способствовало абразии берегов (например, на правобережье устья рек Днепр и Юж. Буг), изменению конфигурации кос (у нижнего края дельты р. Дунай), формированию волноприбойного вала (в устье р. Бельбек, где он иногда полностью изменял конфигурацию устьевого участка этой реки). Прибой, накат и взбросы также представляли опасность, ухудшали условия для рекреации и других видов деятельности, разрушали набережные, берега, строения, были опасны для человека. Масштабы ущерба иногда были существенными. Пример разрушения набережной в Севастопольской бухте показан на рис. 5.5. Обычно, опасных критериев волнение достигало при продолжительных сильных ветрах волноопасных направлений, когда длина разгона волн была максимальной (**Глава 3**, с. 112–116).

Кроме рассмотренных ОГЯ и ООГЯ, причинами опасных явлений этой категории в устьях рек были резкие изменения температуры водной среды из-за адвекции разнородных по температуре вод, а также сильный прогрев воды в межень. Это вызывало изменение конвективного теплообмена, растворимости газов и других веществ в воде, ухудшало качество воды, условия существования гидробионтов. Такое опасное для гидробионтов температурное явление, как сильный прогрев водоёмов (свыше 30 °С), наблюдалось в мелководных слабопроточных акваториях устьев рек Дунай, Днепр и Юж. Буг, особенно в придунайских озёрах, что способствовало заморам рыбы [123, с. 536; 215; 216, с. 494]. Прогрев поверхностного слоя воды в условиях штиля усиливал стратификацию водной массы и затруднял вертикальный обмен кислородом, что способствовало заморным явлениям на шельфе СЗЧМ [144]. Следовательно, и это гидрофизическое явление – комплексное, как по факторам его вызывающим, так и по взаимосвязанности совокупности наблюдаемых явлений.

5.3 Комплексные явления

Анализ различных опасных явлений в МУР показал, что они имеют выраженный комплексный характер, так как развиваются под действием гидрометеорологических факторов, а проявляются изменением как физических свойств, так и химического состава воды, биотической компоненты экосистем. Иногда эти гидролого-гидрохимические явления достигали опасного уровня. К комплексным явлениям, согласно [209], отнесена совокупность гидрометеорологических, гидрохимических и гидробиологических явлений, имевших разную степень опасности и обусловленных различными причинами. Например, формирование слоя скачка плотности препятствовало вертикальному обмену, что способствовало гипоксии и появлению сероводорода в прорези судоходного канала в Днепровско-Бугском лимане. Это, при развитии заморных явлений, приносило ущерб хозяйству и экономике региона.

Неблагоприятные гидрометеорологические условия в комплексе с дампингом грунта вызывали заражение придонного слоя воды, даже вне судоходного канала, о чём свидетельствует распределение средней многолетней концентрации сероводорода (**Глава 4**, рис. 4.9, с. 134) и других абиотических характеристик в акватории Днепровско-Бугского лимана.

Наиболее распространённое комплексное явление, свойственное всем морским устьям рек, это осолонение пресноводных водоёмов и водотоков и опреснение устьевого взморья под действием адвекции и смешения разнородных вод. В отличие от процесса проникновения галоклина в устьевые водотоки (сравнительно изученного) систематическое осолонение-опреснение происходило как при его наличии, так и в условиях среднего и хорошего перемешивания при адвекции речной или морской воды. Адвекция речных и морских вод, с отличными по видовому составу, возрасту, чувствительности к изменению солёности гидробионтами, имевшими разный солевой обмен [69; 166; 150; 357; 358], приводила к гибели тех видов, которые были наименее устойчивы к изменению солевого состава воды. Спектр солёности, при котором могли сосуществовать пресноводные и солоноводные организмы был ограничен 2–8 ‰. Критической солёностью («геобиохимическим» или «экологическим барьером») принято считать солёность 5–8 ‰ [69; 166; 357; 358] или 7–8 ‰ [150]. Исследования «критической солёности» воды Хлебовичем В.В. [357; 358] показали, что именно в узком диапазоне солёности, 5–8 ‰, изменяется ионный состав пресных вод на черноморские, проходит фаунистическая граница между разнородными гидробионтами, и в этом же диапазоне отмечалась массовая гибель гидробионтов на устьевом взморье р. Дунай [358; 372] и в Енисейском заливе [69]. При солёности воды ниже этого предела гибли морские организмы, выше – пресноводные. Поэтому осолонение пресноводных и опреснение солоноводных районов устьев было опасно для разных видов гидробионтов, а также чревато осложнениями при водоснабжении, приводило к засолению поверхностных и подземных вод, а также почв.

Если такое явление в устьях малых рек Крыма (Бельбек и Чёрная) ещё недостаточно изучено для достоверных количественных оценок, то для больших и средних рек (Дунай, Днепр, Юж. Буг) устьевыми подразделениями Гидрометеослужбы и СО ГОИН (МО УкрНИГМИ) выполнялся комплекс стандартных и специальных наблюдений [83]. На основе анализа изменчивости солёности воды (S), выполненного в **Главе 4** (с. 124–128), устья больших рек районированы по степени экологической опасности (рис. 5.8) и для них рассчитана эмпирическая вероятность рисков осолонения-опреснения [224]. Выделено по три области, различавшихся условиями существования пресноводных и морских организмов (рис. 5.8): 1 – опасная для морских гидробионтов ($S \leq 5 ‰$); 2 – критическая ($S = 6–7 ‰$); 3 – опасная для пресноводных гидробионтов ($S \geq 8 ‰$).

Рисунок 5.8 – Области экологической опасности в устьях рек Дунай (а, б), Днепр и Юж. Буг (в, г) в поверхностном (а, в) и придонном (б, г) слоях воды

Области: 1 – опасная для морских гидробионтов ($S \leq 5 ‰$); 2 – критическая ($S = 6–7 ‰$); 3 – опасная для речных гидробионтов ($S \geq 8 ‰$)

Устья малых рек почти целиком представляли собой зону риска для пресноводных гидробионтов, исключая незначительные акватории устьевых участков рек и мест их непосредственного впадения в приёмные водоёмы. Представленное на рис. 5.8 районирование устьевых взморь-

ев по степени экологических рисков характеризует особенности комплексного явления опреснения-осолонения устьев больших рек при средних гидрометеорологических условиях. Из рис. 5.8 очевидно, что в основном устья были потенциально опасны для стеногалинных морских (область 1) и пресноводных (область 3) видов гидробионтов. Поэтому эти области наиболее часто являлись зонами экологического неблагополучия, эвтрофирования акваторий, заморных явлений, появления местного сероводорода в придонном слое.

Рассчитана повторяемость потенциальной экологической опасности, которая обусловлена неблагоприятной для стеногалинных гидробионтов солёностью (в принятых критериальных градациях, рис. 5.8). Например, потенциально опасная среда обитания для морских гидробионтов формировалась в поверхностном слое взморья рук. Килийского р. Дунай в пределах 20–40 км от устья рукавов в 0–40 % случаев, в устьевых водотоках – в 100 % случаев, в то время как вся акватория взморья в 60–100 % случаев была опасна для пресноводных гидробионтов. Так, в половодье, примерно за сутки пресноводные гидробионты со стоком р. Дунай попадали в зону 100 %-го риска (солёность воды на расстоянии 40 км от устьев рукавов всегда была для них лимитирующей). Напротив, при быстрой адвекции солёной воды или местном апвеллинге вблизи устьев рукавов не исключена была гибель солоноводных гидробионтов из-за расположения здесь опасной для них зоны (в которой солёность воды в 40–50 % случаев не превышала 5 ‰). Осолонение устьевых рукавов р. Дунай исследовалось в работе [52] и подтверждено более поздними данными наблюдений – вероятность осолонения устья рук. Прорва составляла около 50 %. После заилиения судоходного канала в этом рукаве вероятность осолонения уменьшилась, по данным [52], практически до нуля. Наблюдений за осолонением рук. Быстрого пока недостаточно для выводов.

В поверхностном слое Днепровско-Бугского лимана, особенно в его восточной части и устьевых рукавах р. Днепр, где солёность редко превышала 1 ‰, в 20–100 % случаев опасности подвергались морские гидробионты, так как их перенос при нагоне в первую область (рис. 5.8) приводил к их гибели. В открытой части устьевого взморья, напротив, была вероятна гибель пресноводных гидробионтов, выносимых течениями при повышенном стоке р. Днепр или при сгонах, так как здесь в 60 и более % случаев формировавшаяся зона была неблагоприятна для пресноводных видов гидробионтов. Менее изучено, но не менее актуально, осолонение устьевых водотоков р. Днепр и устьевого участка р. Юж. Буг. Установлено, что осолонение устьевых водотоков р. Днепр до 3 ‰ и более имело все признаки опасного явления, повторяемость которого в поверхностном слое воды была равна 3 %, а в придонном – 52 %. Солёность поверхностного слоя воды здесь увеличивалась до 10 ‰ и более в 0,2 % случаев, придонного – в 18 % случаев, что могло вызывать гибель пресноводных гидробионтов [357]. На устьевые участки рек Юж. Буг и Ингул также поступала солёная вода. И если в поверхностном слое в районе г. Николаева солёность воды практически не увеличивалась до 10 ‰ (максимальное значение было около 9 ‰), то в придонном

слое её величина, по данным стандартных многолетних наблюдений [83], была равна или больше 10 ‰ в 21 % случаев, т.е. несколько больше, чем по данным специальных наблюдений за галоклином. Гибель пресноводных гидробионтов, поступавших в результате адвекции речных вод в Бугский лиман, могла наблюдаться в 7 % случаев у поверхности и в 58 % случаев у дна.

Значительное опреснение центральной части Кинбурнского пролива (до 6 ‰ и ниже) в поверхностном слое воды было обеспечено на 68 %, в придонном – на 1 %, а на мелководье у г. Очакова – на 81 %, что могло способствовать гибели солоноводных гидробионтов.

Повторяемость осолонения распреснённых и распреснения солёных вод приведена на рис. 5.9. Из него видно, что чаще всего вода в вершинах лимана осолонялась до 2–3 ‰ и опреснялась в его устье до 4–6 ‰. Опасное для пресноводной фауны значение солёности (более 6 ‰) поверхностного слоя воды имело у нижней границы дельты (НГД) р. Днепр эмпирическую вероятность менее 1 %, у нижней границы устьевое участка р. Юж. Буг – 7 %, в Кинбурнском проливе – 32 %. При адвекции морской фауны в период нагона, неблагоприятные для морских гидробионтов условия (уменьшение солёности придонного слоя воды до 6 ‰ и менее) повторялись с вероятностью менее 1 % в Кинбурнском проливе, 42 % – в устье р. Юж. Буг и 61 % – у НГД р. Днепр.

Рисунок 5.9 – Повторяемость осолонения у нижних границ дельты р. Днепр (а), устьевое участка р. Юж. Буг (б) и опреснения в районе Кинбурнского пролива (в)

Многие опасные экзогенные явления (быстро развивающиеся эрозионно-аккумулятивные и интенсивная абразия) обусловлены гидрометеорологическими явлениями и являются результатом их воздействия на сушу [257], поэтому также могут быть отнесены к комплексным явлениям. Например, штормовое волнение (особенно, в комплексе с нагоном) может сопровождаться быстрым разрушением берега, паводок – размывом русла (а в комплексе с ледоходом – ледовой экзарацией и срезкой берега), резкое уменьшение скорости и транспортирующей способности потока – заилением водного объекта (при нагоне и волнении – трансформацией косы, вала, бара).

Таким образом, большинство опасных и особо опасных явлений в рассматриваемых морских устьях рек отличалось комплексностью. Это обусловлено тем, что они развивались в результате различных гидрометеорологических событий, протекавших последовательно или совместно на фоне изменявшейся хозяйственной деятельности, аварий и других техногенных нагрузок на

устья, и приводили к развитию гидрохимических и гидробиологических явлений. Например, длительное отсутствие осадков, безветрие (способствовавшие формированию стратификации водной массы), уменьшение сбросов из водохранилищ, увеличение водозабора, понижение уровня воды в условиях засухи приводило к перегреву воды и способствовало заморным явлениям. Уменьшение водности рек в сочетании с нагоном способствовало осолонению пресноводных водотоков и водоёмов. После сгона активизировался обратный поток в придонном слое, формировался слой скачка плотности (солёности и температуры воды), что приводило к образованию под ним дефицита кислорода, появлению сероводорода и развитию замора. Поэтому, зачастую, гидрометеорологические явления, даже не достигавшие критериев ОЯ и ООЯ, вызывали опасные изменения качества воды и экологических условий.

5.4 Гидрохимические и экологические явления

По масштабам воздействия на природную среду и человека, продолжительности, интенсивности и наносимому ущербу высокую (ВЗ) и экстремально высокую загрязнённость (а не «загрязнение» – см. **Глава 1**, с. 30) воды (ЭВЗ) можно отнести к опасным (ОГХЯ) и особо опасным гидрохимическим явлениям (ООГХЯ). Опасное гидрохимическое явление – загрязнённость природной среды, обусловленная воздействием естественных или антропогенных факторов, приводящая к сверхнормативному ухудшению качества воды. При особо опасном гидрохимическом явлении экстремальное ухудшение качества воды наносит определённый ущерб среде, хозяйству или человеку [209]. ОГХЯ и ООГХЯ, проявляясь в абиотической части экосистемы морских устьев рек, в первую очередь, негативно влияют на их биотические компоненты, вызывают опасные и особо опасные экологические явления (ОЭЯ и ООЭЯ). Под опасным экологическим явлением (ОЭЯ) понимается явление, приводящее к гибели гидробионтов, а ООЭЯ может привести к деградации водной экосистемы [209], принести конкретный ущерб, нанести вред здоровью людей и животных. Иногда указанные опасные явления могут достигать уровня экологической катастрофы (КГХЯ и КЭЯ), приводить к массовой гибели людей и животных.

Основными причинами ОГХЯ (ООГХЯ) и ОЭЯ (ООЭЯ) являлись поступавшие извне вещества антропогенного происхождения, процессы, приводившие к негативному изменению качества воды, а также техногенные аварии (рис. 5.10). Например, в 2000–2010 гг. по вине Румынии в низовьях р. Дунай произошло 25 аварий (по данным Министерства экологии и природных ресурсов Украины), часто отмечались разливы нефти в Севастопольской бухте [64; 309]. Этот тип опасных явлений развивался на фоне разнообразных гидрометеорологических условий, поэтому зависел от состояния природной среды, которое рассмотрено в **Главах 3, 4**. Опасность явления определялась по критериям, приведенным в табл. 5.4.

ОГХЯ (ООГХЯ) и ОЭЯ (ООЭЯ) были тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены (рис.

5.10), развивались совместно или последовательно. Например, загрязнение воды НУ, СПАВ, фенолами и пестицидами (в комплексе или по отдельности) приводило к гибели водных организмов, на окисление их останков расходовалось большое количество кислорода, и при замедленном водообмене, низком стоке воды и штилевых условиях развивался его дефицит, появлялся сероводород. Дефицит кислорода являлся довольно частой причиной ОЭЯ и способствовал интоксикации придонного слоя воды фенольными соединениями и другими ЗВ. Несмотря на то, что загрязнение воды нефтью имело антропогенное происхождение, оно являлось неотъемлемым компонентом природной среды, а по продолжительности и масштабам воздействия, степени реальной и потенциальной опасности, которую представляло для хозяйства, фауны, флоры и человека, его можно отнести к ОГХЯ и ОЭЯ. Причиной ОГХЯ и ОЭЯ могут быть и гидрометеорологические явления, причём, как опасные, так и не достигшие опасного уровня.

Рисунок 5.10 – Основные причины опасных гидрохимических и экологических явлений в морских устьях рек и их взаимосвязь

В то же время, по исследованиям специалистов ИН БЮМ, ЮгНИРО и данным биологического мониторинга, выполнявшегося СО ГОИН (МО УкрНИГМИ) до 90-х годов прошлого века [18; 19], болезни различных видов гидробионтов, обусловленные природными и антропогенными факторами, приводили к их гибели, что значительно ухудшало качество воды. Интенсивное развитие фитопланктона из-за избытка биогенных веществ и прогрева способствовало отмиранию организ-

мов, дефициту кислорода и появлению сероводорода. В этих случаях ОЭЯ приводило к ОГХЯ. Многофакторность и комплексность опасных явлений, а также недостаток натурных данных, затрудняют разработку и применение универсальных критериев.

Иногда определить однозначно, какое ОГХЯ вызвало ОЭЯ (и наоборот), было затруднительно, так как причинно-следственные связи весьма сложны (рис. 5.10). К тому же, определение загрязняющих веществ производилось эпизодически, установить, какое химическое вещество (или биотическая составляющая экосистемы) вызвало ОЭЯ, не всегда удавалось, так как часто концентрации отдельных ингредиентов были невелики, но, воздействуя в комплексе, эти компоненты способствовали экстремальному ухудшению качества воды и развитию ОЭЯ и ООЭЯ.

5.5 Экстремальное ухудшение качества воды

В связи с тем, что причиной ОГХЯ (ООГХЯ) и ОЭЯ (ООЭЯ) может быть не только загрязнение среды (традиционно учитываемое по отклонению отдельных ингредиентов от ПДК и эколого-санитарных нормативов), а неблагоприятный комплекс гидрометеорологических [348], гидрохимических и гидробиологических явлений (например, формирование слоя скачка плотности, дефицит кислорода, заморы), введён термин, являющийся более общим, характеризующий не только основную причину опасных гидрохимических и экологических явлений, но и интегральный результат их развития – экстремальное ухудшение качества воды (ЭУКВ). Согласно [209] ЭУКВ – экстремальное изменение химического, биологического состава и физических свойств воды, делающее её непригодной для конкретных видов водопользования. В этом случае, независимо от генезиса ОГХЯ (ООГХЯ) или ОЭЯ (ООЭЯ), можно обобщать данные для выявления приоритетной совокупности признаков опасных явлений. Пример такого обобщения для морских устьев рассматриваемых рек представлен на рис. 5.11. При этом не учитывалось, что в устьях рек имелись локальные зоны придонной гипоксии, отмечавшиеся практически ежегодно [19; 215], так как в обобщении сведений об ЭУКВ использовались материалы эпизодических наблюдений на отдельных станциях [79; 83] с 1981 по 2012 гг. Повторяемость ОГХЯ и ООГХЯ дана на рис. 5.4в.

В морских устьях рек СЗЧМ причинами ЭУКВ, в основном, являлись неблагоприятные условия, связанные с замедленным водообменом, меженью, расслоением водной массы, подъёмом глубинных вод после сгонов, перегревом воды, обмелением и заилением водоёмов, эвтрофикацией и «цветением воды» [364], повышением минерализации воды, дампингом грунта, гипоксией и появлением сероводорода, аварийными сбросами сточных вод, смывом загрязняющих веществ, авариями на водном транспорте и предприятиях. В ряде случаев установить причины и масштабы ЭУКВ не представлялось возможным, из-за неоперативности и локальности наблюдений. Поэтому к основным показателям, вызывавшим ЭУКВ, относились те ингредиенты, концентрация которых равнялась (или превышала, а для растворённого кислорода была ниже) критерию отнесе-

ния к ЭЗВ [264; 265; 374, с. 19]. Рисунок 5.11 даёт представление о специфике ЭУКВ в различных морских устьях рек. В процентах у диаграмм указан вес показателя, вызвавшего ЭУКВ. Учитывая аддитивность действия всех факторов среды на качество воды, в будущем количественные критерии ЭУКВ можно сделать комплексными, в соответствии с [279].

Анализ вклада различных абиотических ингредиентов в развитие ЭУКВ показал, что в

Рисунок 5.11 – Вклад ингредиентов в ЭУКВ:
1 – НУ; 2 – гипоксия; 3 – ХОП; 4 – сероводород

устьевых водотоках р. Дунай главной причиной ухудшения качества воды являлось загрязнение пестицидами (около 90 % случаев) и фунгицидами, которые попадали в реку при смыве и затоплении дельты, а также разливы нефтепродуктов (около 10 % случаев), так как река судоходна и переносит НУ с вышележащих участков. Причём, повышенное содержание ХОП отмечалось не только в водной среде и донных

отложениях, но и в гидробионтах [355]. В озёрных комплексах отмечались единичные случаи превышения концентрации ХОП и фунгицидов, которые и вызывали ухудшение качества водной среды. На устьевом взморье р. Дунай, куда также поступали ХОП с речным стоком и из атмосферных выпадений, весомый вклад в ЭУКВ (60 % случаев) вносила гипоксия, имевшая природный генезис, так как в придонном слое, особенно при штилевых условиях, возникал дефицит кислорода, обостряемый его расходом на окисление органических веществ [29; 31; 38; 144; 343]. Способствовало этому явлению поступление глубоководных, обеднённых кислородом вод при сгонных ветрах (рис. 4.8).

В устье рек Днепр и Юж. Буг ЭУКВ в 60–80 % случаев происходило из-за дефицита кислорода, чему способствовали слабоветрие и наличие судоходного канала вдоль осей Днепровско-Бугского лимана. Дефицит кислорода в канале – явление постоянное (рис. 4.8), часто достигавшее опасных критериев, вплоть до аноксии, в 20–30 % случаев появлялся сероводород (рис. 4.9). Нефтепродукты и ядохимикаты вызывали ЭУКВ в этом устье в 5–10 % случаев и были связаны с разливами нефтепродуктов и сезонной обработкой полей и садов.

В Севастопольской бухте 50 % случаев ЭУКВ было обусловлено разливами нефтепродуктов, 30 % – дефицитом кислорода, а в 20 % случаев обнаруживали повышенные концентрации ХОП, приводившие к экстремальному ухудшению качества воды.

Таким образом, причины большинства случаев ЭУКВ во всех морских устьях рек – природно-антропогенного характера. При этом антропогенные факторы ЭУКВ преобладали в устьевых водотоках и водоёмах р. Дунай и Севастопольской бухте, природно-антропогенные – в морском устье рек Днепр и Юж. Буг и природные – на устьевом взморье р. Дунай, так как последние, в основном, обусловлены устойчивой стратифицированностью водной массы, расположением в верхнем слое распреснённой, а в нижнем – более плотной солёной воды. В области смешения речной и морской воды вероятность гипоксии, аноксии и появления сероводорода возрастала из-за деградации как пресноводных, так и солоноватоводных гидробионтов (рис. 5.8). Это, в свою очередь, способствовало загрязнению воды фенольными соединениями и другими загрязняющими веществами, что отражено на схемах их распределения (рис. 4.20, 4.21).

Детализация возникновения ЭУКВ по отдельным районам морских устьев рек свидетельствовала о неоднородности распространения этого опасного явления. В районах портов и судоходных акваторий (в Бугском лимане, в устье рек Юж. Буг и Ингул, в Севастопольской бухте) причиной ЭУКВ являлись разливы нефтепродуктов, покрытие поверхности воды нефтяной и масляной плёнками [309]. В общем количестве случаев ЭУКВ этот вид загрязнения составлял здесь от 2 до 50 %. В Севастопольской бухте, Днепровско-Бугском лимане и других акваториях разливы нефтепродуктов в среднем наблюдались по 2 раза в год. В Севастопольской бухте, по данным Государственной инспекции охраны Чёрного моря, только в 1996 г. аварийные сбросы нефтепродуктов происходили 16, а в 1997 г. 11 раз. При этом концентрация НУ иногда превышала ПДК в 200–4000 раз. Например, при разливе нефти в Севастопольской бухте в декабре 1994 г. [64], максимальная концентрация НУ в воде достигала 199 мг/л (3980 ПДК). В будущем, в связи с планируемой активизацией транспортировки и хранения нефти может увеличиться и вероятность ЭУКВ, обусловленная этим токсикантом [223].

Наиболее часто ЭУКВ наблюдалось в малопроточных акваториях, вблизи сбросов сточных вод или являлось результатом транзита загрязняющих веществ, дрейфа пятен. Например, в устье рек Днепр и Юж. Буг вклад НУ в возникновение ЭУКВ был наиболее выражен в центральной части лимана. Вдоль судоходного канала чаще всего отмечалась гипоксия и даже аноксия, повторяемость опасного дефицита растворённого кислорода достигала 28–38 %, за исключением зоны активного водообмена между смежными частями устьевого взморья (в районе Кинбурнского пролива). Сероводородное заражение было типично для пограничных районов лимана, в зонах наибольшего влияния стока рек Днепр, Юж. Буг и Ингул. Пестициды обычно содержались в пробах воды, отобранных на границе между Бугским и Днепровским лиманами, что, вероятно, было связано с сельскохозяйственной деятельностью в междуречье рек Днепр и Юж. Буг. Реже всего ЭУКВ отмечалось в западном районе Днепровского лимана, где самоочищающая способность воды была больше, так как через Кинбурнский пролив поступала более чистая морская вода. К

тому же, ветро-волновая активность здесь была больше, чем в лимане, что также способствовало самоочищению водной среды.

5.6 Заморные явления

Препятствием для рационального использования водных и рыбных ресурсов устьевых регионов были опасные, комплексные явления, вызывавшие гибель гидробионтов, то есть заморные явления (заморы). Они наблюдались иногда по несколько раз в год, зависели от состояния водного объекта и сами являлись негативным фактором, ухудшающим качество среды обитания гидробионтов (рис. 5.10), приносили существенный экономический ущерб. В последние годы, несмотря на спад промышленного и сельскохозяйственного производства (**Глава 2**, с. 73), случаи экстремального ухудшения качества воды, иногда приводившие к развитию заморов, участились и приобрели характер локальных экологических катастроф [215]. Поэтому изучение, прогнозирование и предотвращение ЭУКВ и заморных явлений, является актуальной и важной научной задачей, имеющей практическое значение в природопользовании.

На основе сведений различных организаций о заморах за 1986–2010 гг. ранее автором выполнялся анализ основных факторов заморообразования в устьях рек, рассчитывались статистические характеристики и была построена схема распространения заморов в устье рек Днепр и Юж. Буг [215; 216, с. 494–502]. В данной главе ряды удлинены до 2017 г. (по информации Госрыббагентства Украины¹) и результаты статистических расчётов обновлены (рис. 5.12).

Хотя, по сути, замором считается гибель гидробионтов из-за недостатка кислорода, не всегда заморы развивались исключительно при гипоксии (или факт дефицита кислорода не был своевременно зафиксирован), им также способствовало загрязнение воды и другие причины. Например, занос личинок сельди в придунайские лимано-озёра при невозможности выхода молоди в море приводил к гибели рыбы, особенно, в румынской части дельты. Поэтому к заморным явлениям относились все случаи массовой гибели водных организмов, независимо от их причин, которые было сложно дифференцировать и выделить главный фактор замора (рис. 5.10). При развитии заморных явлений кислород расходовался на окисление органических веществ и быстро наступал его дефицит, что усиливало замороопасность акватории.

Недостаточная изученность заморов не позволила в полной мере определить причины, вызывавшие конкретные ОЭЯ, к тому же, об этих причинах до сих пор нет единого мнения [19; 27; 29; 31; 38; 144; 343; 348; 364]. Имевшиеся сведения о 100 заморах, а также данные ГВК [79; 83; 216, с. 496–499], свидетельствовали о том, что факторы заморных явлений не только в разных устьях, но и в отдельных частях одного устья, имели разную природу, воздействовали на среду в комплексе или последовательно (рис. 5.10). Например, плотностная стратификация препятство-

¹ Державне агентство рибного господарства України, <https://darg.gov.ua>, дата обращения: 12.03.2020 г.

вала вертикальному обмену, что способствовало гипоксии и заморам. Резкие изменения солёности воды из-за эпизодического осолонения–опреснения акваторий в результате адвекции, вызывали гибель гидробионтов [69; 357; 373]. Так, Зерновым С.А. описан случай замора (весной 1931 г.) пресноводных карпов на устьевом взморье р. Дунай, произошедший из-за их выноса рекой в половодье и гибели в результате последующего нагона солёной воды. Заморы были связаны с перегревом воды, им также способствовали: расчистка судоходных каналов, дампинг, аварии, сбросы загрязнённых вод. Заморным явлениям часто предшествовало или сопутствовало ЭУКВ, обусловленное загрязнением воды, низкой меженью, жарой и др. причинами. Заморы вызывало и чрезмерное развитие сине-зелёных водорослей при сокращении растительных видов рыб, особенно при наличии в воде фенолов, НУ, СПАВ и прочих ЗВ. Это способствовало возникновению анаэробной зоны, появлению сероводорода в застойных районах, и, как следствие, гибели гидробионтов. Основные причины возникновения заморов систематизированы и представлены на рис. 5.10. Очевидно, существенную роль в их развитии играли гидрофизические и антропогенные факторы. Однако отмечались случаи, когда заморные явления развивались не только в рассматриваемых устьях, но почти одновременно и в Днестровском, Тилигульском и других лиманах, в Азовском море, а также на шельфе СЗЧМ. В среднем, существенные заморы в устьях рек повторялись 1 раз в 3–4 года, а 1 раз в 5–7 лет фиксировали чрезвычайно крупные заморы. Такая цикличность может свидетельствовать о связи заморов с солнечной активностью, обуславливающей температурный и водный режим морских устьев рек [69, с. 40, 41], с эпизоотиями и естественной убылью ихтиофауны.

Рисунок 5.12 – Число случаев заморных явлений в морских устьях рек СЗЧМ в 1986–2017 гг.

На рис. 5.12 показано количество заморов в последние 25 лет, при которых отмечалась гибель рыбы и раков. Частые случаи заболачивания мелководий, а также появления локальных участков сероводородного заражения в застойных углублениях, имевшие признаки постоянно или эпизодически существовавшего замора, не учитывались при расчёте статистических характеристик.

тик. На устьевых взморьях рек Чёрная и Бельбек заморов в 1986–2017 гг. не наблюдалось.

В последнее время частота заморов увеличивалась, особенно в озёрных комплексах устья р. Дунай (с 1996 г. они отмечались практически каждую весну) и в водохранилищах Днепроовского каскада, где заморы различного масштаба отмечались почти ежегодно, иногда по несколько раз в год. Участились они и в нижнем бьефе Каховского водохранилища – на устьевом участке р. Днепр, в водоёмах и водотоках, расположенных в дельте р. Днепр, прудовых хозяйствах, в восточной части Днепроовского лимана, на границе между Бугским и Днепровским лиманами, в районах дампинга грунта в Днепровском лимане.

На приглубых взморьях малых рек Крыма и в Севастопольской бухте заморов не наблюдалось, несмотря на то, что здесь отмечались ЭУКВ (рис. 5.11) и признаки замора в верхнем слое донных отложений, которые, вероятно, есть почти всегда. Очевидно, это обусловлено тем, что влияние стока рек Бельбек и Чёрная на приглубые устьевые взморья незначительное, поэтому отсутствовала выраженная стратификация вод, вынос загрязняющих веществ был несущественным, а водообмен с открытыми частями моря – довольно интенсивным (особенно на устьевом взморье р. Бельбек). К тому же, эти устья уже не относятся к рыбопродуктивным и рыбопромысловым, рыбные запасы загрязнённой Севастопольской бухты и устьев малых рек сейчас незначительны, следовательно, катастрофичность заморов здесь не столь существенна, как в рыбопромысловых районах устьев рек Дунай и Днепр. Поэтому, даже в очень загрязнённой Севастопольской бухте, где были случаи гипоксии, заморов рыб и крабов в рассматриваемый период не наблюдалось.

Развитие заморов в озёрных комплексах р. Дунай носило специфический характер, до конца не исследованный. В отличие от Днепровско-Бугского лимана в оз.-лим. Кагул, Сафьяны, Ялпуг и Кугурлуй превышение концентрации ЗВ над ПДК обычно не наблюдалось, исключая 2000 г., когда в оз.-лим. Ялпуг были обнаружены пестициды (2,4 ПДК), и 2017 г. при обнаружении ХОП (15 ПДК) и соединений азота (2,2–3,8 ПДК) в лим.-оз. Сафьяны. Вероятными причинами почти ежегодных заморов рыбы в лимано-озёрах могли быть следующие: зарыбление Ялпуга неприспособленными к дунайской воде видами (так как их гибель начиналась после разбавления минерализованной озёрной воды дунайской водой в весенний период); смыв пестицидов с полей, расположенных на берегу Кагула, Сафьяны, при выпадении осадков; обмеление озёрного комплекса (до 60-х годов, лимано-озёра были в 1,5–4 раза глубже) из-за недостаточной подачи в них дунайской воды; повышение минерализации; уменьшение проточности; перегрев воды; зарастание и заболачивание Кагула, Сафьяны; неоптимальное регулирование водообмена между оз.-лим. комплексом Ялпуг-Кугурлуй, Сафьяны и р. Дунай; заиление подводных каналов. В 1988, 1995, 1996 и 2000 гг. предположительной причиной заморов в оз.-лим. Ялпуг и Кугурлуй были сбросы сточных вод с территории Молдовы.

Заморы рыбы, а иногда и раков, с 1988 г. ставшие регулярными в придунайских лимано-

озёрах, в основном были приурочены к концу апреля–началу мая, когда в них подавалась вода р. Дунай и отмечалось развитие фитопланктона, но иногда они наблюдались в период максимального прогрева, межени и безветрия, как и заморы в устье рек Днепр и Юж. Буг. Донные гидробионты на взморье р. Дунай гибли практически ежегодно, начиная с 70-х годов [19], как и в судоходном канале Днепровско-Бугского лимана. Но в отличие от лимана, на взморье р. Дунай, по данным ГВК [79; 83], сероводорода не наблюдалось.

Анализ материалов гидрометеорологических и гидрохимических наблюдений в период заморов в устье рек Днепр и Юж. Буг [215; 216, с. 496–499] показал, что им благоприятствовало уменьшение в воде растворенного кислорода до 2 мг/л и ниже и появление сероводорода. Гипоксия в устье рек Днепр и Юж. Буг (рис. 4.8), отмирание пресноводных и солоноватоводных гидробионтов, «цветение» воды приводили к появлению заморноопасных зон в днепровских плавнях, слабопроточных водоёмах и водотоках. Заморы были приурочены и к районам наибольшего влияния стока рек Днепр, Юж. Буг, Ингул. Определённую роль в развитии заморов в низовьях р. Днепр играли сбросы из каскада днепровских водохранилищ, где заморы стали регулярным явлением. В отдельных случаях сток р. Днепр был вполне достаточным, чтобы замор не развился, но из Каховского водохранилища поступала обеднённая кислородом вода, что могло способствовать стратификации и быть причиной замора в его нижнем бьефе. В судоходном канале формированию зоны постоянного сероводородного заражения способствовали слой скачка и проникновение солёной воды. Здесь гидробионты гибли ежегодно. Заморным явлениям в других частях Днепровского лимана чаще всего сопутствовала гипоксия, появление сероводорода и загрязнение воды. В низовьях р. Юж. Буг гибель рыбы была вызвана браконьерством с использованием запрещённых способов лова, а в Бугском лимане – гипоксией и загрязнением воды.

По данным 47 заморов (за период 1986–2017 гг.) выделены отдельные районы Днепро-Бугского устьевого региона, где чаще всего отмечались заморные явления разного масштаба и генезиса, но их точные границы пока не установлены (рис. 5.13). К ним отнесена зона постоянного сероводородного заражения в судоходном канале. Чаще всего заморы отмечались в плавнях, мелководных водоёмах и малопроточных водотоках в дельте р. Днепр, а также в районе с. Александровка. Однако места заморов требуют уточнения, потому что в отдельных случаях погибшая рыба могла быть принесена на мелководье течениями из других районов [215; 216].

Обычно заморные явления в устье рек Днепр и Юж. Буг отмечались в августе (в 27 % случаев) и июле (19 % случаев), реже всего – с октября по март (0–8 % случаев в месяц). В остальные месяцы их повторяемость не превышала 10 %.

Установлено, что в период заморных явлений в Днепровско-Бугском лимане в 78 % случаев сток р. Днепр был меньше 1000 м³/с, а в 50 % случаев – меньше или равен 500 м³/с. При повышенном стоке р. Днепр (≥ 1600 м³/с) заморы обычно не фиксировались. Следовательно, в развитии

заморов водность рек была немаловажным фактором. Регулирующее выравнивание внутригодового стока р. Днепр в рассматриваемый период – отсутствие в 70 % лет выраженного половодья (Глава 3, табл. 3.1, с. 75), не способствовало полной «промывке» Днепровско-Бугского лимана. Весенние сбросы охватывали, в лучшем случае, верхний 5-ти метровый слой воды, поэтому придонные горизонты были насыщены продуктами распада органических веществ и существенно загрязнены, что негативно сказывалось на рыбопродуктивности лимана и способствовало заморам.

Рисунок 5.13 – Замороопасные участки в Днепро-Бугском устьевом регионе

— акватории, где отмечались заморные явления

Во время летне-осенних заморов всегда отмечался дефицит кислорода, в 80 % случаев фиксировали сероводород, а в 67 % случаев был наибольший в году прогрев воды. При этом, заморам в основном сопутствовали повышенные концентрации НУ (2–18 ПДК), СПАВ (1–5 ПДК), ХОП (1–15 ПДК), фенолов (1–6 ПДК), ГЭБЦ (1–25 ПДК). Обработка сельхозугодий ХОП тоже способствовала развитию этого опасного экологического явления. Например, при заморных явлениях в 1986, 2004, 2005, 2007 и 2008 годах в воде содержались ядохимикаты, а в другие годы данные по содержанию пестицидов просто отсутствовали.

Сбросы неочищенных промышленных отходов и сточных вод играли в этом явлении определённую роль, как и естественная эвтрофикация воды. Загрязнённость воды рек Днепр и Ингулец в период, предшествующий заморам в этом устье и в день замора, была существенна: многие ингредиенты имели концентрацию, превышавшую ПДК в десятки раз [216, с. 499]. В последние годы участились случаи заморов в Бугском лимане, а также в районе с. Ивановка и с. Александровка (рис. 5.13). По данным Государственно агентства рыбного хозяйства в Николаевской области в воде в период заморов летом и осенью 2017–2020 гг. обнаруживали повышенные концентрации железа, сульфатов, хлоридов, аммиака, сероводорода и других веществ, при этом наблюдалось «цветение» и высокая температура воды. Заморные явления всё чаще отмечаются в заиленных

акваториях портов, где в период межени вода застаивается и обогащается сбросами загрязняющих веществ. Работа земснарядов и дампинг грунта также приводили к заморным явлениям, поскольку нарушался активный слой донных отложений и рельеф дна, что способствовало выбросу сероводорода в водную среду. Так, добыча песка в восточной части Днепровского лимана привела к массовому замору рыбы в ноябре 2019 г. (рис. 5.14), когда температура воды, содержание растворённого кислорода и другие гидрометеорологические условия не могли быть причиной гибели рыбы. В июне 2020 г. замор в Бугском лимане был спровоцирован сверхнормативными сбросами сточных вод, а в июле этого же года произошёл замор в западной части Днепровского лимана.

Рисунок 5.14 – Замор рыбы в восточной части Днепровского лимана у с. Рыбальче в ноябре 2019 г.

*Фото Херсонского рыбоохранного патруля
<http://www.t.ks.ua/na-hersonshchine-pogiblo-pochti-2-milliona-ryb-foto>*

Очевидно, что большая часть заморов в Днепровско-Бугском лимане, отмечавшихся в период летне-осенней межени, была связана не только со сбросами загрязнённых вод, но и с неблагоприятными гидрологическими, гидрохимическими и гидробиологическими условиями, главной составляющей которых являлись: слабая проточность из-за малых попусков водохранилищ, сильный прогрев, стратификация и эвтрофикация воды, отмирание водных организмов, с образованием сероводорода и аммонийного азота, хроническое загрязнение лиманных вод, поступление солёной воды, усиливающее стратификацию

и способствующее гибели гидробионтов. Так, в 2015 и 2016 гг. при заморах отмечалась повышенная солёность воды в лимане и малые попуски Каховской ГЭС (300–350 м³/с), а в 2019 и 2020 гг. температура воды повышалась до 27–28 градусов на глубине 1,5 м, отмечалось «цветение воды».

О роли солёности воды в развитии заморов пока нельзя сказать определённо, но по данным наблюдений на водпосту в г. Очаков, в замороопасный период и во время некоторых заморов, солёность воды, зачастую, резко изменялась от 2 до 13 ‰. Такие колебания солёности способствовали гибели гидробионтов, не приспособленных к существованию в осолонённых водах (как это отмечалось на взморье р. Дунай и в Енисейском заливе [69]) и, наоборот, при резком опреснении погибали их морские виды [150; 357; 372; 373].

В спектре опасных явлений в МУР СЗЧМ преобладали гидрофизические (гидрометеорологические), гидрохимические и комплексные явления, поэтому их систематизация выполнялась в указанных рамках в соответствии с принятыми критериями (табл. 5.4).

Таблица 5.4 – Перечень опасных (ОЯ) и особо опасных явлений (ООЯ) в морских устьях рек северо-западной части Чёрного моря

Явление	Критерий опасности явления		Перечень негативных последствий при ОЯ и ООЯ
	опасное (ОЯ)	особо опасное (ООЯ)	
Сильный ветер, ураган, шквал, смерч, торнадо	Скорость ветра 15–24 м/с, шквал (резкое усиление ветра до 20 м/с в течение нескольких минут, но не менее 1 мин.)	Скорость ветра ≥ 25 м/с, ураган (≥ 33 м/с), шквал (резкое усиление ветра до 25 м/с, продолжительностью ≥ 1 мин), смерч	Сгонно-нагонные явления, пыльные бури, разрушения, повреждения линий электропередач, связи, штормовое волнение
Пыльная буря, метель	При средней скорости ветра 10 м/с и более и метеорологической дальности видимости не более 500 м	Продолжительностью 12 час и более, при скорости ветра 15 м/с и более и метеорологической дальности видимости не более 500 м	Повреждение поверхности почвы и посевов, увеличение мутности воды и заносимости каналов, ухудшение видимости, прекращение движения транспорта
Ливень, сильный дождь	Слой осадков не менее 30 мм за период не более 1 часа	Слой осадков 30–50 мм и более за 12 час и менее	Смыв ЗВ, повышение селеопасности, оползни, паводок
Ухудшение видимости, сильный туман, мгла	Видимость 500 м и менее, продолжительностью 3 час и более	Видимость 100 м и менее, продолжительностью 12 час и более	Затруднения судоходства и движения транспорта
Сильная жара	Среднесуточная температура воздуха 35–40 °С в течение 5 дней и более	Среднесуточная температура воздуха более 40 °С	Повышение минерализации, температуры воды и ухудшение её качества, низкая межень
Сильный мороз	Среднесуточная температура воздуха минус 15–25 °С в течение 5 дней и более	Среднесуточная температура воздуха ниже минус 25–30 °С	Мощный ледяной покров, заморы, перемерзание водных объектов, вымерзание плодовых культур
Гроза	Начало явления	Наземные молнии	Повреждение объектов, травматизм и гибель людей, пожары, аварии
Крупный град	Диаметр градин 6–19 мм	Диаметр градин 20 мм и более	Повреждение сельскохозяйственных культур
Гололёд	Слой льда 6 мм и более	Слой льда 20 мм и более	Препятствие для транспорта, травматизм
Сильный снег	Слой осадков 7–19 мм за 12 час и менее	Слой осадков 20 мм и более за 12 час и менее	Препятствие для транспорта и работ в портах
Выбросы опасных химических веществ в атмосферу	Разовая концентрация ЗВ 10–49 ПДК, необычный запах	Разовая концентрация ЗВ более 50 ПДК	Загрязнение природной среды, угроза животным и человеку
Пожароопасность	Более 4000 °С (по формуле Нестерова)	Более 5000 °С (по формуле Нестерова)	Возгорание сухостоя, лесной пожар

Продолжение таблицы 5.4

Явление	Критерий опасности явления		Перечень негативных последствий при ОЯ и ООЯ
	опасное (ОЯ)	особо опасное (ООЯ)	
Водяной смерч	Неустойчивая стратификация атмосферы, образование вихревой воронки	Смерч более 10 м в поперечнике, перемещающийся в сторону суши	Разрушение сооружений, объектов, судов, насаждений, транспорта, гибель людей
Затопление или заливание территории из-за подъёма уровня воды при половодье, паводке, нагоне, заторе, зажоре, сбросах из водохранилищ и др.	Отметки уровня, равные или превышающие отметки ОГЯ согласно действующему перечню или при достижении им значения 10%-ой обеспеченности	Отметки уровня, равные или превышающие отметки ООГЯ согласно действующему перечню или при достижении им значения менее 10%-ой обеспеченности	Затопление и подтопление естественно-затопливаемых территорий (вызванное подпором) населённых пунктов, сооружений, посевов, дорог, различных объектов, заболачивание
Наводнение	Затопление долины УУР, дельты, больше среднего многолетнего значения, или ранее незатопливаемой местности	Затопление долины УУР, дельты или побережья более чем на 0,5 м выше средней многолетней отметки затопления	Заболачивание территорий, подтопление, разрушение строений и сооружений, гибель животных и людей, посевов, размыв берегов
Спад уровня воды при сгоне, межени, повышенном водозаборе, и др.	Отметки уровня, равные или ниже отметок ОГЯ согласно действующему перечню или при достижении им значения 90%-ой обеспеченности	Отметки уровня, равные или ниже отметок ООГЯ согласно действующему перечню или при достижении им значения более 90%-ой обеспеченности	Обмеление русел, судоходных каналов, осушение прибрежной зоны, затруднения при водозаборе и судоходстве, гибель гидробионтов
Прекращение стока воды, пересыхание водного объекта	Расход устьевого водотока равен нулю	Понижение отметок уровня воды до значений ООГЯ в течение 10 дней и более	Обмеление, заболачивание, деградация экосистемы, пересыхание водного объекта
Аварийный сброс из водохранилищ	Рост уровня воды на 10 см и более за 1 ч и менее, резкое увеличение скорости течения, мутности, изменение физико-химических свойств воды	Отметки уровня, равные или превышающие отметки ООГЯ согласно действующему перечню, скорость течения более 1,5 – 2,5 м/с	Затопление и смыл территорий, населённых пунктов, размыв русла, разрушение сооружений, объектов, изменение химического состава и качества воды
Значительное, резкое изменение скорости течения в устьевых водотоках, проточных водоёмах, проливах, гирлах	Скорость течения больше размывающей или меньше заиляющей скорости, отмечающаяся в течение ≥ 1 суток	Скорость течения больше размывающей или меньше заиляющей скорости течения в 2 раза и более	Размыв или заиление водотоков, перераспределение стока в рукавах, обратимые или необратимые русловые и нерусловые деформации
Сильное течение в водотоках, водоёмах, проливах, гирлах	Скорость течения у берегов более 1 м/с, в глубоководной части 2 м/с и более	Скорость течения у берегов более 1,5 м/с, в глубоководной части более 2,5 м/с	Дрейф судов, льда, валунов, предметов, размыв русел, берегов, нагрузки на сооружения, их разрушение

Продолжение таблицы 5.4

Явление	Критерий опасности явления		Перечень негативных последствий при ОЯ и ООЯ
	опасное (ОЯ)	особо опасное (ООЯ)	
Сильное волнение, накаты, прибой, взбросы	Высота волны 1,5 м и более	Высота волны 3 м и более	Препятствие для судоходства, рыболовства, нагрузки на сооружения и берега, их разрушение
Тягун	Умеренный тягун при высоте волны в портах 21 см и более	Сильный тягун при высоте волны в портах 31 см и более, горизонтальное перемещение судов 1 м и более	Обрывание швартовых, прекращение погрузочно-разгрузочных работ, дрейф судов и их повреждение
Цунами	Начало явления	Высота волны 2 м и более	Затопление территорий, повреждение объектов и сооружений на побережье и судов
Резкие колебания температуры воды	Изменение температуры воды на 3–5 °С в течение 6 час и менее	Изменение температуры воды более, чем на 5 °С в течение 6 час и менее	Изменение качества воды, условий обитания гидробионтов, заморные явления
Сильный прогрев водоёмов	Температура воды выше абсолютного максимума, установленного по ряду наблюдений не менее 25 лет	Температура воды выше абсолютного максимума, установленного по ряду наблюдений не менее 25 лет, в течение 1 суток и более	Ухудшение качества воды, нарушение биологических циклов, гибель организмов и растительности (заморные явления)
Осолонение пресноводных устьевых водных объектов	Повышение солёности пресноводного объекта на 5‰ в течение 1 сут и более	Повышение солёности пресноводного объекта до 6‰ и более	Гибель пресноводных организмов и растительности
Опреснение солоноводных устьевых водных объектов	Понижение солёности солоноводного объекта на 6‰ в течение 1 сут и более	Понижение солёности солоноводного объекта до 5‰ и менее	Гибель солоноводных гидробионтов и растительности
Проникновение галоклина в устьевые водотоки	Распространение галоклина, солёностью 1‰ и более, к водозаборам	Распространение галоклина, 3–5‰ и более, в пресноводные водные объекты	Осаждение солей в трубах, прекращение водоснабжения, орошения сельхозугодий, засоление почв, гибель пресноводных гидробионтов, образование внутриводного льда
Скачок плотности, солёности, температуры воды	Градиенты: плотности 0,07 кг/м ³ , солёности – 5‰ на метр, температуры 10 °С на метр	Сохранение значительных градиентов плотности, солёности и температуры в течение 5 дней и более	Замедленный вертикальный обмен, гипоксия, появление сероводорода, заморные явления

Продолжение таблицы 5.4

Явление	Критерий опасности явления		Перечень негативных последствий при ОЯ и ООЯ
	опасное (ОЯ)	особо опасное (ООЯ)	
Обледенение судов, сооружений и объектов на берегу	Скорость обледенения менее 0,7 см/ч	Скорость обледенения 0,7 см/ч и более	Уменьшение остойчивости судов, опрокидывание, обледенение платформ и других объектов и сооружений
Раннее образование склянки, припая или ледостава	Дата появления льда не позднее самой ранней даты, установленной из ряда наблюдений, превышающего 20 ледовых сезонов	Дата образования неподвижного льда (ледостава или припая) повторяемостью 1 раз в 10 лет и реже	Препятствие для судоходства, сокращение сроков безледового плавания
Позднее вскрытие и очищение ото льда	Даты вскрытия и очищения ото льда позже самых поздних дат этих явлений, установленных из рядов наблюдений, превышающих 20 ледовых сезонов	Даты последнего вскрытия и очищения ото льда повторяемостью 1 раз в 10 лет и реже	Задержка сроков начала навигации, препятствия для судоходства и рыболовства
Густой ледоход и дрейф сплочённого льда	Густота ледохода 0,5 и более при скорости течения более 0,5 м/с и толщине льдин более 20 см; дрейф ледяных полей, площадью не менее 500 м, со скоростью 0,3 м/с и более; дрейф льда, сплочённостью более 7 баллов при скорости течения более 0,5 м/с и толщине льдин более 20 см	Густота ледохода 0,7 и более при скорости течения более 0,8 м/с и толщине льдин 30 см и более; дрейф льда сплочённостью более 9 баллов при скорости течения более 0,8 м/с и толщине льдин 30 см и более; дрейф ледяных полей, площадью не менее 500 м, со скоростью 0,5 м/с и более	Препятствия для судоходства и рыболовства, ледокольных работ, повреждение и разрушение сооружений, объектов, судов, опасность образования заторов на затороопасных участках, экарация берегов, кос, дна ледяными образованиями
Сжатие и торошение льда	Сжатие 2 балла; торошение 4 балла	Сжатие 3 балла; торошение 5 баллов	Затруднение ледокольных работ, стеснение русел, опасность заторообразования
Напор льдов на сооружения, суда, навалы льда на берега	Каждый случай напора и навалов льда	Напор и навалы льда, толщиной 30 см и более	Повреждение и разрушение портовых и др. сооружений на берегу, разрушение берегов
Значительная толщина льда	Толщина льда 80 см и более	Толщина льда 100 см и более	Прекращение судоходства, стеснение русла, перемерзание небольших водотоков и водоёмов, заморы рыбы

Продолжение таблицы 5.4

Явление	Критерий опасности явления		Перечень негативных последствий при ОЯ и ООЯ
	опасное (ОЯ)	особо опасное (ООЯ)	
Заторы и зажоры, ледяные барьеры и торосы в водотоках и проливах	Начало образования	Развитие явления в течение 1 суток и более, подъём уровня воды до отметки 10 %-ой обеспеченности и менее	Подъём уровня воды и затопление территорий, опасный ледоход, повреждение объектов и сооружений, экзарация берегов и кос льдом, затруднение навигации
Ухудшение органолептических свойств воды	Появление несвойственного ранее запаха воды	Появление несвойственного ранее запаха воды интенсивностью более 4 балла	Ухудшение качества воды, угроза гидробионтам, животным и человеку
Высокое загрязнение воды, экстремально высокое загрязнение воды	Концентрация ЗВ 10–50 ПДК; ХОП 1–3 ПДК; БПК 10–40 мг/дм ³ , содержание растворённого кислорода 3–2 мг/дм ³	Концентрация ЗВ > 50 ПДК; ХОП > 3 ПДК; БПК > 40 мг/дм ³ , содержание растворённого кислорода < 2 мг/дм ³	Угроза деградация экосистемы, здоровью животных и людей
Радиоактивное загрязнение почвы	Мощность экспозиционной дозы на уровне 1 м от поверхности более 20 мкР/час	Мощность экспозиционной дозы на уровне 1 м от поверхности более 100 мкР/час	Угроза радиоактивного поражения человека
Замусоривание водного объекта	Появление мусора в воде и на берегах	Покрытие мусором 30 % видимого водного объекта	Загрязнение водного объекта, нарушение газового обмена
Разливы нефтепродуктов и масел	Появление пятен, плёнок и разлив нефти менее 0,1 т	Покрытие акватории (при его обозримой площади до 6 км ²) на 30 % и более, разлив нефти 0,1 т и более	Появление плёнок, пятен, нарушение газообмена, гибель фауны и флоры
Экстремальное ухудшение качества воды	4-й класс качества воды по УКИЗВ – «очень грязная», ИЗВ более 6	5-й класс качества воды по УКИЗВ – «экстремально грязная», ИЗВ более 10	Ухудшение качества воды, гибель гидробионтов, деградация экосистемы
«Цветение воды»	Биомасса фитопланктона 10,1 – 50,0 мг/дм ³ , доля синезелёных водорослей менее 50 % видимой акватории	Биомасса фитопланктона более 50,0 мг/дм ³ , доля синезелёных водорослей равна 50 % и более видимой акватории	Нарушение биохимических и биологических процессов, экологическое бедствие, деградация экосистемы
Замор	Начало явления, пороговый дефицит кислорода	Площадь замора 30 % обозримой акватории и более	Гибель фауны и флоры, ухудшение качества воды
Подтопление прибрежных территорий	Повышение уровня грунтовых вод до 0,5 м от поверхности и выше	Выход грунтовых вод на поверхность земли	Подтопление населённых пунктов, сооружений, полей, насаждений, лесов, засоление почв, заболачивание

Продолжение таблицы 5.4

Явление	Критерий опасности явления		Перечень негативных последствий при ОЯ и ООЯ
	опасное (ОЯ)	особо опасное (ООЯ)	
Заиление водных объектов	Увеличение отметок дна, превышающее естественное обмеление в 2 раза	Увеличение отметок дна, превышающее естественное обмеление в 3 раза и более	Нарушение режима стока, зарастание, заболачивание, ухудшение качества воды
Засоление подземных вод	Минерализация более 10 г/л	Минерализация более 100 г/л	Ухудшение качества питьевой воды, засоление почв
Сель	Разгрузка морского смерча на суше, ливневые осадки при наличии эрозионно-русловой сети	Интенсивность осадков более 2 мм/мин в течение 30 мин. и более	Повреждение дорог, сооружений, строений, нарушение режима стока рек, изменение рельефа
Землетрясение	При превышении оценки вероятности 0,5	Землетрясение 4 балла и более	Изменение рельефа, разрушение населённых пунктов, жертвы
Оползни, обвалы, осыпи, эрозия, абразия, смыв, размыв и намыв берегов, карст, просадка грунта и др.	Коэффициент поражения территории, скорость развития процесса более 2 % в год	Коэффициент поражения территории, скорость развития процесса более 5 % в год	Изменение рельефа, разрушение сооружений, жертвы
Дампинг грунта	Дампинг в пределах морского устья реки, КДА менее $n^3 \cdot 10^3$; СПЗ 101 – 300	Дампинг в пределах морского устья реки, КДА $n^3 \cdot 10^4$ и более; СПЗ более 300	Гибель донных биотопов, ухудшение качества воды, обмеление, зарастание
Аварийный сброс сточных вод	Сумма ЗВ 1–2 КО 3–5 ПДК, 3–4 КО 10–50 ПДК, БИ 2	Сумма ЗВ 1–2 КО более 5 ПДК, 3–4 КО более 50 ПДК, БИ ≤ 1	Острое токсическое действие на гидробионты, их гибель
Истощение водных ресурсов	Объём безвозвратных изъятий более 20 % от нормы стока	Объём безвозвратных изъятий более 40 % от нормы стока	Маловодье ^{*)} , нарушение экосистемного равновесия, деградация экосистемы

Примечания:

1. Таблица составлена на основании материалов работ: [76; 123; 173; 183–185; 238; 243; 251; 257; 263–265; 278–280; 283–285; 288; 312; 347], «Сводного перечня опасных и стихийных явлений по Азово-Черноморскому бассейну», 2008 г., а также ежегодных отчётов об ОЯ и ООЯ в Азово-Черноморском бассейне, хранящихся в Гидрометфонде СО ГОИН.
2. КДА – коэффициент донной аккумуляции, рассчитанный по [279]; УКИЗВ – удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды, определённый по [284]; КО – класс опасности, СПЗ – суммарный показатель загрязнённости и БИ – биотический индекс *F.S. Woodowiiss*, в соответствии с [278].
3. ^{*)} – термин «маловодье» заимствован из работ [167; 168; 374, с. 12].

ГЛАВА 6 УСТЬЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Впадение рек в осолонённые приёмные водоёмы сопровождается комплексом сложных гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических процессов, обусловленных контактом вод различного генезиса и их взаимодействием с сушией и атмосферой. В результате этого взаимодействия, а также под влиянием антропогенных факторов, формируется особая среда морских устьев рек, от состояния которой зависит функционирование устьевых экосистем.

Факторы, обуславливающие устьевые процессы, подразделяются на климатические, речные, морские, рельефные и антропогенные [233], их взаимосвязь обеспечивает комплексность и разнообразие этих процессов. Это усложняет анализ, затрудняет применение гидродинамических методов расчётов, разработанных для водных объектов с более однородным распределением гидрофизических и гидрохимических характеристик в пространстве и во времени. Взаимосвязь факторов, процессов и режима устья, реки и моря показана на рис. 6.1.

Рисунок 6.1 – Взаимосвязь устьевых процессов с режимоформирующими факторами

Несмотря на отмеченное разнообразие факторов (рис. 6.1), основную роль в изменчивости характеристик всех устьевых процессов играет сток рек (Глава 3, раздел 3.1.3), оказывая динамическое, тепловое и распресняющее влияние на устья. Это позволяет использовать его в качестве предиктора при анализе и прогнозе отдельных сторон режимоформирующих устьевых процессов в больших, средних и малых устьях рек (МУР) различного типа.

В данной главе основное внимание уделено отдельным аспектам взаимодействия разнородных вод в МУР (смешение и проникновение солёной воды в пресноводные части устьев, перераспределение стока в устьевых рукавах, загрязнение, геоморфологические, тепловые, ледовые и обменные процессы). Акцент сделан на роли стока рек и возможности использования натурных данных для количественных оценок основных характеристик устьевых процессов.

6.1 Геоморфологические процессы

В устье р. Дунай уже произошли геоморфологические изменения, которые подробно описаны в работах [52; 55; 396; 426; 438]. В современный период, в последние 15 лет, средняя интенсивность прироста площади дельты составляла $0,4 \text{ км}^2/\text{год}$, что на порядок меньше, чем в период с 1872 по 1922 г. [52]. Это обусловлено уменьшением стока наносов Кикийского рукава (**раздел 3.2**, с. 92–93) и усилением роли морских факторов. Изрезанная нижняя граница дельты со временем стала более выровненной. Гидрографическая сеть в Кикийской дельте изменчива. Например, количество устьевых рукавов в настоящее время равно 12, а по картам 1883 г. их насчитывалось 56 [52]. При увеличении обводнённости дельты р. Дунай (в паводки) увеличивалось количество озёр, но в то же время последствием катастрофического паводка 2006 г. явилось обмеление перекатов в Кикийском рукаве [83]. Осушение плавней привело к уменьшению их площади. В связи с отчленением от моря лагун и заливов (например, лаг.-оз. Разельм, Румыния) и увеличением притока в них пресной воды, увеличилась площадь румынских озёр, а неоптимальное регулирование поступления стока р. Дунай в украинские лим.-оз. Кугурлуй, Ялпуг, Кагул из-за заиливания подводных каналов к ним привело к уменьшению их площади и глубины. Наблюдения ДГМО за динамикой дельты показали, что в устье р. Дунай происходило изменение высотных отметок, дельта опускалась со средней скоростью $1,6 \text{ мм в год}$ [19; 52], очевидно, из-за уплотнения пород и просадки грунта. Устьевое взморье Кикийского рукава быстро мелело, особенно взморья рукавов Прорва и Старостамбульского, причиной этого могли быть не только природные, но и антропогенные факторы, способствовавшие отмиранию украинских рукавов.

Наблюдения ДГМО и СО ГОИН [83] за динамикой кос между устьями рук. Быстрый и Восточный и на левобережье рук. Быстрый в 1975–1986 гг., а также русел рукавов Потаповский, Гнеушев и Быстрый в 1970–1986 гг., свидетельствуют об их плановых деформациях (рис. 6.2). Промеры устьевого взморья приведены к уровню 500 см по водпосту Приморское, что соответствует 0,00 м БС. Отмечались существенные деформации: за десятилетие высотные отметки изменялись в пределах 1–4 м, а горизонтальное смещение достигало сотен метров [83].

Показанные на рис. 6.2 деформации русел подтверждают выводы Михайлова В.Н. и др. учёных [52; 93; 232–235] о главенствующей роли изменений морфометрических характеристик русел в развитии рукавов. Очевидно, что рук. Потаповский отмирал, Гнеушев активизировался, а рук. Быстрый находился в стабильно активном состоянии (рис. 6.2 и [52, с. 325]). Неустойчивость русла рук. Гнеушева и общая тенденция уменьшения стока Кикийского рукава (**Глава 3**, с. 77) способствовали тому, что в последние годы рук. Гнеушев сменил тенденции своего развития с активизации на отмирание, что согласуется с выводами работы [52]. Рукав Прорва в естественных условиях находился в стадии отмирания, и только дноуглубительные работы по поддер-

жанию глубин судового хода, строительство Соединительного канала с портом Усть-Дунайск способствовали его активизации вплоть до 1992–1993 гг. После прекращения гидротехнических работ рукав отмирает [52].

Рисунок 6.2 – Деформации устьевых рукавов р. Дунай и кос в 1970–1986 гг.

Недоучёт особенностей гидролого-геоморфологических процессов, транспорта наносов и перераспределения стока, связанных с русловыми деформациями, привёл в 1957 г. к неправильному выбору рукава Прорва (как и выбору в 1876 г. рук. Бакай на р. Днепр) для сооружения судоходного канала. Это потребовало значительных средств на поддержание эксплуатационных глубин в условиях прогрессирующего отмирания рукава. Анализ русловых деформаций (рис. 6.2) подтверждает выводы, сделанные в работе [52], о правильности сооружения судоходного канала в рук. Быстром как наиболее устойчивом. Выдвижение дельты здесь было минимальным, в отличие от систем Очаковского и Старостамбульского рукавов. Очевидно, что без углубления рук. Прорва отомрёт (а судовый ход в рук. Быстром заилится без поддержания глубин на баре), что приведёт к негативным последствиям для экономики Украины – потере стратегических и транспортных позиций на Дунае, водных ресурсов, деградации Придунавья.

Наиболее опасными современными геоморфологическими процессами в дельте р. Дунай являлись не только заиливание рук. Прорва, спрямление и углубление румынских рукавов, но и увеличение мели, выдвижение мыса Измаильского Чатала по направлению к украинскому берегу, обусловленные сооружением и укрупнением румынской потоконаправляющей дамбы в этом районе и дампингом грунта в Килийском рукаве, осуществляемого Румынией. Анализ кос-

мических снимков и гидрографических карт показал, что за последние 10 лет румынский берег в районе Измаильского Чатала выдвигался в Килийский рукав р. Дунай и увеличивался в среднем на 3,3 км² в год, а рук. Килийский (в отсутствии реконструктивных работ) интенсивно мелел. Обмеление в районе Измаильского Чатала может в будущем привести к пересмотру территориальных границ между Украиной и Румынией, в пользу последней (так как граница между этими государствами проходит по стрежню потока, который смещается и будет в будущем смещаться в сторону украинского берега), а дальнейшее заилиение рук. Килийского – к негативным экологическим последствиям для придунайских озёр, Дунайского биосферного заповедника (ДБЗ), загрязнению воды, затруднению судоходства и водоснабжения в Придунавье.

Последовательное развитие представлений предыдущих исследователей [10; 16; 19; 49; 52; 244; 308; 311; 368; 375; 430] о геоморфологии устьев, а также гипотеза о палеоморфологии устья рек Днепр и Юж. Буг представлены на рис. 6.3, 6.4. Реки, текущие с севера на юг (почти параллельно в меридиональном направлении), ранее были полноводными, несущими достаточное количество наносов, о чём свидетельствуют их долины и толщина слоя аллювиальных отложений [132; 244; 308]. В результате их совместного стока наносов и волноприбойной деятельности моря образовалась прибрежная аллювиальная равнина [308], Кинбурнская коса и Одесская банка, расположенные в зоне гашения скоростей течения рек, параллельно северо-западной береговой черте Чёрного моря. При понижении базиса эрозии происходил размыв на месте современного Днепровско-Бугского лимана. Правый берег размывался, а на левобережье наносы аккумуляровались. Вследствие потепления климата и опускания суши устьевые части долин рек затапливались при трансгрессии моря, морские факторы играли при этом существенную роль (рис. 6.3б). На месте Днепровско-Бугского лимана образовался залив Чёрного моря, вершина которого в новочерноморское время располагалась в 45 км выше плотины Каховской ГЭС (у с. Горностаевка), а вершина Бугского лимана находилась у г. Новая Одесса [268]. Сформировалось две крупных системы рукавов р. Днепр. Пра-дельта р. Днепр занимала значительную площадь, река впадала в заливы системами рукавов (рис. 6.3в). Согласно теории цикличности процессов дельтообразования Байдина С.С. [26], многорукавность дельты естественно сменилась малорукавностью. Поэтому, в результате действия силы Кориолиса и перераспределения стока, левобережная группа рукавов р. Днепр отмерла, а правобережная – заняла современное положение. Повышения и понижения уровня моря и отметок суши чередовались неоднократно [132; 308], изменялся сток впадающих в Днепровско-Бугско-Березанский лиманный комплекс рек [366], лиман мелел, заиливался, пока морское устье рек Днепр и Юж. Буг не приобрело современные очертания и режим (рис. 2.6, с. 67).

На основе картографического материала (географических, геоморфологических и геологических карт разных периодов [16; 18; 19; 135–138; 244; 369; 408]), палеогеографии и геоло-

гии шельфа СЗЧМ [49; 132; 268; 308], описаний рек и их устьев Геродотом, Страбоном [50; 336],

Рисунок 6.3 – Палеоморфология рек Днепр и Юж. Буг (а) по Макову К.И. [311, с. 266], лимана (б) и дельты (в)

Витрувием Поллионом и др. [311; 368; 370; 418], сведений об их стоке [365; 366], скорости абразии берегов [19; 49; 134] и уровне моря [60–62; 132; 418], выполнена реконструкция устья рек Днепр и Юж. Буг (рис. 6.4) на период V–IV вв. до н.э. [216, с. 74] и предложена идентификация рек северо-западной части Чёрного моря [218]. Согласно гидротопонимам, указанным в работах [50; 336], с запада на восток устьевые части рек располагались следующим образом (рис. 6.4): 1) р. Истр – р. Дунай; 2) р. Тира – р. Днестр; 3) р. Гипанис – р. Березань, включая Березанский лиман, и впадавшая в неё, до перехвата притоком реки Юж. Буг [13], р. Чичикля (возможно, с верховьями р. Кодыма); 4) р. Борисфен – р. Юж. Буг (Бог), включая Бугский лиман, с притоком р. Синюха и, возможно, р. Днепр выше места впадения р. Рось; 5) р. Пантикапа – р. Ингул; 6) р. Гипакирис – р. Ингулец; 7) р. Герр – р. Днепр (ниже места впадения р. Псёл); 8) р. Танаис – р. Дон с притоком р. Северский Донец («Великий Дон»). Подробное обоснование ретроспективной реконструкции и идентификации изложено в работах автора [212; 216, с. 70–75; 218]. Там же приводятся аргументы в пользу гипотезы о совпадении устьев современных и древних рек (известных по описанию Геродота [50]), базирующиеся на палеогеографических и геологических сведениях, а также авторских оценочных расчётах (выдвижения дельты, затопления побережий и обмеления лимана,

трансформации гидрографической сети), подтверждающих, что именно р. Юж. Буг (в античности – Борисфен, в дальнейшем – Богъ, *Boh Ruthenian*) была многоводной транспортной артерией, важным торговым путём. Сохраняя преемственность с античными представлениями [50; 336], на некоторых портуланах Чёрного моря, например, [369, с. 26; 408, с. 701] ещё в XIV–XVI вв. р. Юж. Буг изображали правым рукавом р. Борисфен, полагая низовья р. Днепр (р. Герр по Геродоту [50]), с его дельтой, левым рукавом этой же реки. Идентификация Бугского лимана на отечественных картах начинается с XIX в., ранее лиман считали рекой Буг [216, с. 74]. Результаты анализа карт и спутниковых данных, накопленных в МГИ, и расчёта средней скорости выдвигания дельты р. Днепр в лиман, выполненные автором в [216, с. 457–463], свидетельствуют о том, что дельта этой реки в V в. до н.э. располагалась несколько выше современной, приблизительно – в районе впадения р. Ингулец (рис. 6.14), а на месте современной дельты преобладал озёрно-плавневый и болотный ландшафт.

Характерной особенностью современного устья рек Днепр и Юж. Буг являлись небольшой сток речных наносов из-за их аккумуляции в водохранилищах, поступление материала разрушения берегов и переотложение наносов, обусловленное не только природными факторами, но и реконструкцией судоходного канала, дампингом грунта, гидротехническим строительством, что влияло на аккумулятивно-эрозионные процессы.

Рисунок 6.4 – Днепровско-Бугско-Березанский
устьевой комплекс 2500 лет назад

В настоящее время для устьевых участков рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец типичны однорукавные извилистые русла, с размывом вогнутых и намывом выпуклых берегов, а р. Днепр – пойменная многорукавность и относительная прямолинейность водотоков, особенно крупных. Эрозия преобладала на правом берегу устья, аккумуляция – на левом. В дельте р. Днепр, которая почти не удлинялась в последние 25 лет, образования новых водотоков не происходило, превалировало отмирание небольших боковых рукавов, которые

мелели, водоёмы заиливались и зарастали, происходило переотложение наносов в тыловых частях дельтовых островов. Наблюдения за динамикой Кинбурнской косы свидетельствовали о плановых деформациях на некоторых участках, особенно в период штормовой активности. Под

влиянием штормового волнения и течений в Кинбурнском проливе изменялся дистальный конец

Рисунок 6.5 – Изменение конфигурации берегов и глубины (м) в различных частях устья рек Днепр и Юж. Буг

косы, замыкающей Днепровско-Бугский лиман.

По исследованиям за последние 176 лет обмеление акваторий и изменение конфигурации береговой линии было характерно для берегов разного типа (рис. 6.5). Существенную роль в этом оказывал дампинг в акватории лимана и даже устьевых рукавах р. Днепр, осуществляемый как в прошлом, так и в настоящем. Искусственные сооружения нарушили естественные процессы формирования берегов, рельефа дна, необратимо изменяя их облик (рис. 6.5).

Наибольшие изменения характерны для дельты р. Днепр и Кинбурнской косы, средняя скорость выдвижения которых (за период 1836–2012 гг.) составляла 23 и 5 м/год соответственно. После сооружения каскада ГЭС скорость выдвижения дельты в лиман уменьшилась в среднем до 3–5 м в год. Из-за недостатка данных выявить зависимость между морфометрическими характеристиками и стоком воды пока не представляется возможным. Однако установлено, что в отдельные исторические периоды отмечалось изменение средней скорости нарастания дельты р. Днепр, пропорциональное среднему расходу воды (табл. 6.1). Из таблицы видно, что чем меньше был расход воды р. Днепр, тем меньше

была скорость выдвижения дельты в Днепровский лиман. Повышенная водность соответствовала большому количеству стокообразующих осадков, активному смыву с бассейна реки, размыву русел и островов, с последующим перемещением материала размыва вниз по течению, а также активизации эрозионных процессов на побережье, что приводило к смещению нижней границы дельты в лиман. Рост уровня моря вызывал повышение базиса эрозии, стоковые скорости течения из-за подпора уменьшались, что способствовало отложению наносов. С другой стороны, рост уровня моря сопровождался активизацией абразии берегов. В результате морских процессов взморье также пополнялось наносами.

Оказалось, что специфика побережий рассматриваемых МУР не укладывается в рамки разработанных в [16; 19; 114; 244] классификаций морских берегов, поскольку устье реки включает как морские, так и речные берега. Поэтому автором предложена их типизация и районирование по преобладающим процессам и факторам воздействия [212, 216, с. 35].

Таблица 6.1 – Динамика прироста дельты р. Днепр в отдельные периоды

Период	Число лет	Расход воды, м ³ /с	Скорость выдвижения, м/год
1799–1814	16	1510	31,3
1836–1895	60	1680	28,3
1895–1933	39	1730	48,7
1933–2009	77	1410	7,75
1954–2012	59	1340	4,63

Анализ морфометрических изменений в устье рек Днепр и Юж. Буг за многолетний период показал, что происходило сглаживание береговой черты, обмеление лимана, выдвижение аккумулятивных берегов на устьевое взморье из-за разрушения побережья, дампинга грунта, динамики вод. Учитывая, что за год слой донных отложений в лимане увеличивался в среднем на 0,7 см (Глава 3, с. 99-100), кроме судоходного канала, где скорость осадконакопления достигала 1–3 см/мес [156], а уровень воды в лимане в среднем увеличивался на 0,3 см/год (Глава 3, с. 80), выполнен расчёт предполагаемого будущего устья рек Днепр и Юж. Буг, при условии сохранения указанных тенденций в последующее тысячелетие (Глава 7, с. 308–309). Возможно, что процесс заиления лимана при интенсификации роста уровня моря и опускания суши будет происходить иначе. Но так как теоретическая и математическая формулировка геоморфологических процессов пока представлена на элементарном уровне [387], более точные разработки могут быть предприняты в перспективе. Дноуглубительные работы в судоходном канале и дампинг грунта вдоль его бортов могут способствовать вторичному заилению канала и обмелению прилегающей акватории, а также зарастанию мелководий. В отдалённой перспективе вероятно не только выдвижение дельты р. Днепр в Днепровско-Бугский лиман, но и выдвижение Кинбурнской косы в прилегающую часть моря, о чём свидетельствует уменьшение глубин в районе Одесской банки. Указанные тенденции к обмелению лимана подтверждают необходимость запрета дампинга грунта вдоль судоходного канала в лимане и устьевых водотоках и возможность использования отложений Одесской банки для хозяйственных целей.

Геоморфологические изменения устьев малых рек Крыма изучены недостаточно [18; 19; 132]. Единства мнений о прошлом низовьев палео-долин крымских рек в работах Иноземцева Ю.И., Шнюкова Е.Ф., Пасынкова А.А., Маслакова Н.А., Бондарева И.П., Иванова В.Е. и др., а также Гидрографической службы ЧФ РФ [33; 34; 49; 87; 126; 194] нет.

По современным данным (1987–2010 гг.) гидроакустического зондирования взморьев рек

Чёрная и Бельбек, выполненного ИнБЮМ, Гулин М.Б. и Коваленко М.В. предположили, что пра-реки Чёрная и Бельбек имели общее палео-устье, сливаясь на расстоянии около 13 км от современного берега [87]. По исследованиям Бондарева И.П. и др. [33] Севастопольская бухта – грабен, и современный рiasовый тип берега, не типичный для других бухт Чёрного моря, с характерными для него положительными тектоническими движениями, образовался при трансгрессии моря. В период морской регрессии р. Чёрная впадала в центральную часть Севастопольской бухты, о чём свидетельствует слой аллювиальных отложений, позже перекрытый лиманно-морскими и морскими отложениями. Балки были притоками пра-реки Чёрной. Авторы этой работы подтверждают более ранние выводы Борисенко Л.С. о наличии субмаринной разгрузки в Севастопольской бухте и в прилегающей части моря [34], которая могла оказывать распресняющий эффект при возможном самоизливе [34]. При повышении базиса эрозии и уменьшении речного стока на месте Севастопольской бухты сформировался лиман (с кутовой частью в районе г. Инкермана), вероятно отгороженный от моря пересыпью, следы которой обнаруживаются до сих пор в виде порога в мористой части взморья. В результате трансгрессии, в условиях тектонической стабилизации, река сформировала в образовавшемся Инкерманском лимане дельту выполнения клювовидной формы. Более древняя, внутренняя, дельта реки, остатки которой прослеживаются до сих пор, располагалась выше современного устьевое участка реки (1б на рис. 2.6б, с. 67), а основное русло первоначально находилось севернее современного (рис. 6.6). На антикварной карте 1810 г. Ed. D. Clarke хорошо видна дельта реки и обширная заболоченная местность.

Рис. 6.6 – Карта устья р. Чёрной 1810 г.

режим доступа: <https://antikvaria.ru/product/krym-antikvarnaja-karta-sevastopolskoj-buhty-1810-e-goda/>

Антропогенные изменения и истощение водных ресурсов р. Чёрной привели к образованию однорукавного современного русла, правобережье которого было заболочено (рис. 6.7а, б). В середине прошлого века в этом месте соорудили искусственный канал, ковш морского порта, что нарушило естественные процессы устьеобразования и изменило облик устья (рис. 6.7в).

Таким образом, ранее устье реки было трёхкомпонентным (2в, табл. 2.2, с. 61), имело УУР, дельту, бухту и прилегающую часть моря. На карте 1856 г. (рис. 6.7а) ещё видны остатки рукавов, что свидетельствует о былой многорукавности дельты. При естественном стоке р. Чёрной отметки конуса выноса повышались на 1–4 см в год, и он продвигался в бухту в среднем на 8 м в год. Ландшафт дельты представлял

собой заболоченную местность, через которую была проложена насыпная дамба с дорогой, что отчётливо видно и на снимке 1943 г. (рис. 6.7б). В первой половине XVIII в. по искусственному водоводу производился забор воды из р. Чёрной (в районе д. Чоргунь) и переброска части её

Рисунок 6.7 – Изменения морфометрии устья р. Чёрной:

а) – 1856 г.; б) – 1943 г.; в) – 2015 г.
красным цветом (а, б) показан
современный контур устья р. Чёрной

(около 0,4 км²). Следовательно, район 3б (рис. 2.6б), называемый условно «Инкерманским лиманом», включающий каналы и водоём, является искусственным водным объектом, кардинально

стока в накопительный резервуар, а затем в сухие доки Севастопольского порта. Объём водозабора неизвестен, но так как река небольшая, это могло сказываться на режиме её устьевой части и выносе наносов на взморье. Однако к середине столетия водоводом перестали пользоваться, сток реки восстановился и считался естественным до сооружения Чернореченского водохранилища в 1954 г. Современный рельеф и гидрографическая сеть устья р. Чёрной (рис. 6.7в) существенно отличаются от естественных (рис. 6.6, 6.7а), что явилось результатом хозяйственной деятельности. Как показано в работе автора [225], структура этого морского устья сейчас включает как естественные, так и искусственные взаимосвязанные компоненты, а выявленные изменения гидрографических и морфометрических характеристик привели к изменению типа устья (рис. 6.7в). Конфигурация берегов изменена молами, причалами, дамбами и др. гидротехническими сооружениями на насыпных грунтах. Нарушению естественных процессов устьеобразования также способствовало сооружение прудов и водохранилищ на р. Чёрной и её притоках и перепланировка Инкерманской долины в дельтовой части реки и районе базиса эрозии. Здесь, на месте старого рукава реки, вместо дельтового болота (в 1955–1961 гг.) был создан водоём, глубиной 6–10 м, в результате чего площадь закрытой части устьевого взморья (Севастопольской бухты) была увеличена на 5 %

изменившим гидрографию, рельеф, водный режим и условия природопользования в устье р. Чёрной. Взморье стало вдаваться в сушу (в результате затопления речной долины) на 2,4 км. Устьевой участок реки в разные годы также подвергался антропогенным изменениям, русло реки перекрыли серией плотин. В настоящее время его протяжённость равна 0,6 км, что на 2,4 км меньше, чем считалось ранее [208]. В результате хозяйственной деятельности глубина на бывшей нижней границе устьевого участка реки (в районе базиса эрозии в прошлом) увеличилась в 4,6 раз, а ширина – в 6,5 раз. Эти преобразования привели к изменению русловых процессов на всём протяжении реки и типа устья – в настоящее время его можно считать двухкомпонентным, антропогенно изменённым (1в, табл. 2.2, с. 61 и табл. 2.3, с. 62). Однако эти масштабные преобразования устья р. Чёрной не были негативными – они повысили экономический и рекреационный потенциал Севастопольского региона, сделав природопользование более рентабельным и многосекторным, а из-за регулирования стока прекратилось пересыхание реки в межень и затопление поймы в половодье.

Река Бельбек в древности заполнила наносами лиман, в который когда-то впадала. При этом, мощность лиманно-морских отложений (по данным Севастопольского института геоинженерно-технических изысканий) была в 5 раз больше, чем в Севастопольской бухте, чему способствовал меньший, по сравнению с Севастопольской бухтой, продольный уклон Бельбекского пра-лимана и прилегающего шельфа, а также образовавшаяся в его устье устойчивая пересыпь. Следы рукавов и лагун в древней дельте наблюдаются и сейчас в виде озера, заболоченных территорий и стариц. После сооружения водохранилищ на притоках реки сток наносов уменьшился, но в настоящее время тенденции положительные – из-за активизации эрозионных процессов в бассейне реки. Устьевой участок реки неоднократно подвергался реконструкции и антропогенным изменениям [97; 200; 230]. Это привело к активизации подтопления и затопления долины реки, её загрязнению. Кроме антропогенного влияния геоморфологические характеристики устьевого участка р. Бельбек изменялись в зависимости от природных факторов: стока и волнения. Так, в течении одного года, например, 2018 г., река впадала в море то одним, то несколькими рукавами. После сильных штормов волноприбойный вал иногда полностью отчленял речной поток от устьевого взморья, образуя затон [230], при этом поток фильтровался в море через галечно-песчаный вал. Зачастую делали искусственный проран в образовавшемся вале наносов, а после паводков происходил возврат потока в естественное русло. Деформации устьевого участка р. Бельбек в 2016–2020 гг. показаны на рис. 6.8. Из него видно, что геоморфологические процессы на устьевом участке реки можно сравнить со свободным или незавершённым меандрированием, осложнённым морскими и антропогенными факторами. Поскольку сложные геоморфологические процессы природно-антропогенного генезиса в этом устье затрудняют его типизацию, оно отнесено к нетиповым (табл. 2.3).

Меандрирование УУР, фото С. Ерёмина, 2016 г.

Образование волноприбойного вала, фото автора, 2017 г.

Возврат потока в старое русло реки и смыв пляжа после паводка, фото В. Сковородникова, 2018 г.

Вдольбереговой УУР, длиной 0,7 км (красным показано старое русло), веб-камера «ОкоСевСтар», 2020 г.

Рисунок 6.8 – Деформации устьевое участка р. Бельбек в 2016–2020 гг.

черноморья (Глава 2, табл. 2.3) и Приазовья [211] показал, что устья древних рек, имевшие закрытые устьевые взморья (лиман, лимано-лагуну, лагуну, бухту) и водообмен с морем, в ходе эволюции перешли в озёрную (5 % устьев рек, длина которых больше 10 км), а некоторые (сток которых практически прекратился) в болотную стадию развития, минуя стадию формирования дельты выдвижения [26; 93; 232]. Причиной таких «нетипичных» геоморфологических изменений являлся сток рек. При уменьшении среднего многолетнего стока реки до определённого критического значения, формирование дельты выполнения прекращалось (на стадии малорукавности), так как речные факторы ослабевали. Приёмный водоём в результате усиления морских факторов блокировался замыкавшей его пересыпью [209], отчленявшей устьевое взморье от моря, обмен с морем прекращался, и морское устье реки становилось озёрным устьем. Дальнейшее уменьшение стока реки приводило к переходу озера в стадию болота. Следовательно, морские устья рек могут трансформироваться в другие водные объекты – озёра и болота. Этот вывод может служить основой для дальнейшего развития теории эволюции морских устьев рек, фундаментальные положения которой были заложены Байдиным СС., Михайловым В.Н., Роговым М.М. и др. [26; 93; 232–235; 267; 292–294], что позволит получить количественные оценки изменений геоморфологических характеристик МУР при возможных изменениях их водного режима.

6.2 Перераспределение стока рек между устьевыми рукавами

Перераспределение стока воды и наносов в устьевых водотоках рек Дунай и Днепр происходило с разной степенью активности. Наблюдения показали, что более интенсивно эти процессы проявлялись в водотоках р. Дунай, и существенную роль в этом, действительно, играло искусственное перераспределение стока между рукавами [52]. Однако анализ дельтообразования в прошлом и настоящем в разных морских устьях рек [10; 12; 24; 26; 36; 52–59; 93; 95; 134; 139; 157; 165; 233; 234; 245; 247; 271; 292–295; 311; 321; 352; 375; 396; 438] свидетельствовал о том, что процессы перераспределения стока между устьевыми рукавами были и до вмешательства человека. В северном полушарии сток рек перераспределялся преимущественно в пользу правых рукавов [13; 35; 36; 174] и, в соответствии с теорией цикличности [26], многорукавность сменялась малорукавностью. На основании анализа палеогидрологии 52 больших рек [12; 24; 52–59; 95; 157; 245; 292–295; 311; 321; 375; 386; 396; 438 и др.] очевидно, что основной природной причиной многолетнего перераспределения стока между устьевыми рукавами являлось действие на водные потоки силы Кориолиса и центробежной силы. Причём, чем больше река, тем больше отклоняющее действие на поток этой силы, что аналитически выражено законом Словцова-Бэра-Бабине [10; 13]. Например, сток р. Дунай почти в 5 раз больше стока р. Днепр, поэтому воздействие силы Кориолиса на р. Дунай проявлялось в большей степени, чем на р. Днепр. Река Днепр уже исчерпала «резерв» для смещения водотоков вправо под действием этой силы, так как она уравнивается другими силами, действующими на поток: центробежной, поперечной составляющей силы тяжести, силами, обусловленными преобладающим ветровым воздействием, сгонно-нагонными явлениями. Крупные рукава р. Днепр практически прямолинейны, правобережье реки сейчас ориентировано в широтном направлении, вдоль коренного берега. В то же время, дунайский поток продолжает смещаться вправо и этот процесс, без специальных мероприятий с украинской стороны, неизбежно приведёт к отмиранию рукавов Килийской дельты, особенно, в условиях активного воздействия на его режим со стороны Румынии. Тем не менее, перераспределение стока между устьевыми рукавами, обусловленное естественными причинами, обычно никак не учитывалось при анализе динамики гидрографической сети в морских устьях рек и оценке возможных изменений стока отдельных рукавов.

По данным работ [52; 396; 438] за 200 лет произошли изменения в распределении стока воды между рукавами р. Дунай в пользу Румынии, при этом приводятся результаты, разнящиеся на 10–15 %. Как показано в работе [52], доля среднего многолетнего стока рук. Килийского (от стока р. Дунай) уменьшилась с 73 до 52 %. Доля румынских рукавов увеличилась: Тульчинского – с 27 до 48 %, Сулинского – с 7 до 20 % (рис. 2.6в, с. 67). Аналогичные оценки получены автором по данным ГВК [78; 83]. Кроме указанных природных факторов, этому способствовали: углуб-

ление и спрямление Сулинского (1868–1902 гг.) и Георгиевского (1981–1992 гг.) рукавов, сооружение потоконаправляющей дамбы в месте разделения р. Дунай на Килийский и Тульчинский рукава (1902 г.), а также многочисленные каналы и дамбы, построенные Румынией.

Процессы перераспределения стока р. Дунай в пользу Румынии подтверждает рис. 6.9, из которого видно, что средний годовой расход воды рук. Килийского уменьшался (в среднем на $22 \text{ м}^3/\text{с}$ в год), при отсутствии значимых тенденций стока р. Дунай (Глава 3, с. 77) и увеличении расхода Тульчинского рукава (в среднем на $16 \text{ м}^3/\text{с}$ в год). Уменьшению стока Килийского рукава в последнее двадцатилетие способствовал водозабор из него, осуществляемый Румынией, и заиливание украинского судоходного канала. Это привело к экономической катастрофе в Дунайском регионе, прекращению судоходства в рукавах украинской части дельты, что нанесло значительный ущерб бюджету Украины. Кроме того, Румыния сбрасывала грунт, поднятый со дна Сулинского и Святогеоргиевского каналов, в украинско-румынский рук. Килийском, тем самым, загрязняя его и обогащая наносами. По заявлению МИД Украины с 2000 г. задокументировано 278 таких сбросов. В устье рук. Прорва баровый участок обмелел, сток в него уменьшился и прои-

Рисунок 6.9 – Изменчивость среднего годового расхода воды р. Дунай, рук. Килийского и рук. Тульчинского за период 1961–2012 гг.

зошло его перераспределение в пользу технологического Соединительного канала, что привело к выносу наносов в акваторию порта Усть-Дунайск, обмелению прилегающей акватории Жебри-янской бухты и даже её заболачиванию [30]. Процессы обмеления усугублялись вдольбереговым транспортом наносов и воздействием преобладавших северо-восточных ветров. Без постоянной реконструкции технологический Соединительный канал также заносился наносами, что лишило порт Усть-Дунайск его назначения. Снижение негативного влияния этих деформаций и стабилизация перераспределения стока для сохранения украинских судоходных трасс возможны при осуществлении водохозяйственных мероприятий в рукавах Прорва, Соединительный и Быстрый, которые предложены в Глава 7, с. 296–304. В то же время, рук. Быстрый сохранял свою активность

с 1929 г. (рис. 6.2), его сток с начала 60-х годов прошлого столетия увеличился в 2,5 раза.

Анализ рядов наблюдений на однородность [188; 296; 302], связей между расходами и уровнями воды, многолетнего и внутригодового распределения стока (**Глава 3**, с. 77–79), хозяйственной деятельности, последствий высоких паводков 2005–2006, 2010 гг. показал, что в устье р. Дунай перераспределение стока между рукавами из-за гидротехнических работ в румынской части дельты (в 1981–1992 гг.), изменения уровня хозяйственной деятельности в её украинской части (сооружение Соединительного канала и заиление рук. Прорва, резкое уменьшение наносов при неизменном стоке воды [123]), климатических внутригодовых изменений, проявилось с 1990–1992 гг. Катастрофический паводок 2006 г. не только изменил морфометрические характеристики некоторых рукавов и кос, но также мог быть причиной перераспределения стока между отдельными рукавами, как и меры по улучшению судоходства в рук. Быстром р. Дунай. Следовательно, перерасчёт распределения стока между устьевыми рукавами р. Дунай с 1992 г. и с 2006 г. (т.е. по однородным рядам) мог бы улучшить количественные оценки процесса перераспределения стока между дунайскими рукавами.

Таким образом, процессы перераспределения стока и морфологические процессы в устье р. Дунай были взаимосвязаны и взаимообусловлены: с одной стороны, причиной перераспределения стока являлись русловые деформации, с другой, перераспределение приводило к русловым деформациям, что полностью соответствует выводам работы Михайлова В.Н., Полонского В.Ф. и др. [232; 233; 267]. Дифференцировать роль природных и антропогенных факторов в процессе перераспределения стока р. Дунай в пользу румынских рукавов пока не удалось, так как анализировались результаты их совместного воздействия на сток и русло.

Количественные оценки, сделанные на основе анализа наблюдений в устье р. Днепр и приведенные в работах Гринько Е.С., Симова В.Г., Костяницына М.Н. и Потоцкого П.Н. [85; 86; 156; 271; 316], показывают, что перераспределение стока здесь происходило гораздо медленнее, чем в устье р. Дунай (табл. 6.2).

Таблица 6.2 – Распределение стока воды р. Днепр по рукавам (%) в различные периоды

Название рукава	Период, средний расход воды (м ³ /с) за период, источник сведений			
	1883–1905 гг., 1570, [271]	1930–1935 гг., 2070, [156]	1960–1962 гг., 1140, [156]	1965–1971 гг., 1580, [85; 86; 316]
Забич	81,8	–	–	84,8 / 84,8 / 84,8
Рвач	32,4	–	–	34,3 / 34,5 / 34,5
Бакай	48,8	–	–	50,5 / 50,3 / 50,3
Конка	18,2	5,0	12,5	15,2 / 15,2 / 15,2
Серединка	0,61	–	–	– / – / –
Кошевая	–	2,5	7,6	– / – / 5,20
Ольховый Днепр	–	66,0	42,6	– / – / 45,0
Старый Днепр	–	35,8	14,9	– / – / 15,0

Отмелая часть устьевого взморья (Днепровско-Бугский лиман), ограничивающая влияние морских факторов на рукава р. Днепр, сглаживание колебаний стока реки (в результате эксплуатации каскада днепровских водохранилищ и осуществления многолетнего и сезонного регулирования), незначительные уклоны – способствовали стабилизации процесса перераспределения стока воды между основными рукавами: Рвач, Бакай и Конка (рис. 1.3б). Это подтверждают результаты расчёта перераспределения стока, приведенные в [85; 271]. Более поздние расчёты перераспределения стока между рукавами [86; 316], сделанные за тот же период (1965–1971 гг.), хотя и имеют незначительные расхождения (табл. 6.2), повторяют результаты работы [85].

Однако в рассматриваемый период (с середины прошлого века) были проведены масштабные водохозяйственные мероприятия в бассейне р. Днепр, что привело к внутригодовому перераспределению стока воды и наносов в морское устье реки, уменьшению максимального стока и площади затопления дельты. Мелкие протоки перестали существовать, отдельные участки подверглись обвалованию, проводились дноуглубительные работы в судоходном канале рук. Рвач, осуществлялся водозабор и др. Поэтому, утверждение, что многолетнего перераспределения стока в рукавах р. Днепр не происходило, как считалось ранее в работе [316], для настоящего времени не является достаточно обоснованным. К тому же, в сравниваемые периоды (1883–1905 гг. и 1965–1971 гг.) сток р. Днепр был одинаковым, канал в рук. Рвач уже существовал, поэтому сходство в распределении расходов воды по рукавам, отмеченное в работе [85], могло быть обусловлено идентичностью гидрометеорологических условий в эти периоды и сравнительной устойчивостью русел рассматриваемых водотоков. При анализе всех имевшихся данных обнаружены некоторые различия в распределении стока по рукавам, что может свидетельствовать о происшедшем его перераспределении при изменении расхода воды. Например, в многоводный период (1930–1935 гг.) в рук. Ольховый Днепр поступало на 23 % больше днепровской воды, чем в маловодный (1960–1962 гг.). Существенные изменения долевого стока (в % от стока р. Днепр) отмечались в рук. Конка и Кошевая (рис. 1.3б), что могло быть связано с изменением их гидрографической сети и внутригодовым перераспределением стока р. Днепр (табл. 6.2).

Многолетнее и необратимое перераспределение стока в рукавах р. Днепр, очевидно, происходило, так как русла рукавов выдвигались в лиман, изменялась их глубина (рис. 6.5). Например, рук. Рвач удлинился на 1,3 км за последние 150–170 лет, его глубина в устье увеличилась в 4 раза, а рукав Бакай обмелел на 3–4 м и удлинился на 3,7 км. Однако эти изменения могли быть достаточно медленными, чтобы их достоверно установить на коротком промежутке времени, к тому же, в условиях недостатка натурных данных и теоретических исследований. Изменчивость гидрографической сети и изменение размеров русел могли вызывать перераспределение стока между рукавами [267]. Так, отмирание небольших проток, ответвлявшихся от рук. Конка, по которым её сток попадал в озёра, привело к тому, что доля стока этого рукава увеличилась, более

чем в 3 раза (табл. 6.2), по сравнению с 30-ми годами прошлого века. Увеличение стока рук. Рвач, очевидно, являлось результатом дноуглубительных работ. Поддержание постоянных глубин в судоходном канале этого рукава препятствовало его естественной эволюции и способствовало стабилизации процессов перераспределения стока р. Днепр.

Следовательно, бóльшая устойчивость и прямолинейность русел р. Днепр по сравнению с рукавами р. Дунай, меньшее воздействие на поток кориолисовой и центробежной сил, малый сток наносов (особенно после сооружения каскада днепровских водохранилищ), поддержание постоянных глубин в судоходном канале Днепро-Бугского лимана и рук. Рвач способствовали замедлению процессов перераспределения стока воды, наносов и растворённых веществ между устьевыми рукавами р. Днепр.

6.3 Обменные процессы

Сложность гидрологического режима, трудоёмкость получения синхронных измерений скорости течения, солёности, температуры и химического состава воды в поперечном сечении, особенно в экстремальных погодных условиях, отсутствие надежных расчётных методов, не позволяют точно оценить водо-, соле- и теплообмен на границах морских устьев рек при постоянно изменяющихся гидрометеорологических условиях, хотя обменные процессы играют существенную роль в режиме устьев, так как обуславливают изменчивость всех характеристик в пространстве и во времени. От правильного решения задачи расчёта составляющих обменных процессов зависит достоверность балансовых оценок как морских устьев рек, так и Чёрного моря.

На примере наиболее обеспеченного гидрометеорологическими наблюдениями Кинбурнского пролива, расположенного между косами Кинбурнской и Очаковской (рис. 6.10), апробирован способ расчёта основной составляющей обменных процессов – адвективного переноса воды, тепла и солей [220; 222]. В его основу положена идея Скриптунова Н.А. о связи течений на устьевом взморье р. Дон с интенсивностью изменения уровня воды в вершине Таганрогского залива как основным индикатором формирования устьевой циркуляции [324]. При этом, в работе [324] предполагалось, что поток однонаправленный – либо прямой, либо обратный, и течения в заливе обусловлены динамическими процессами в Азовском море, поскольку зарегулированный сток р. Дон был малоизменчив в период съёмки. В отличие от разработки Скриптунова Н.А. [324], автором предложено рассчитывать разнонаправленные потоки в любых двумерных проливах в зависимости от интенсивности изменения уровня воды в вершине приёмного водоёма [189; 190; 197; 216; 222]. Аналогичные проливы имеют устья рек Днестр (Цареградское гирло), Дон (Должанский пролив), Черная и др. Методика ранее была апробирована автором для оценки обменных составляющих в Должанском проливе Таганрогского залива и Цареградском гирле [189; 197;

204]), проверена при оценке баланса воды, тепла и веществ Днепровско-Бугского лимана [220], а позже использована авторами работы [320]. Поскольку механизм обменных процессов через двумерные проливы идентичен [299; 300], представленная разработка [222] может быть применима для различных устьев, при наличии натурных данных, достаточных для построения эмпирических связей.

Рисунок 6.10 – Многослойные течения в Кинбурнском проливе 14.10.2006 г. (а), преобладающие течения (б) и средние за период с 1976 по 2012 гг. изотахи (в)
 W – скорость ветра; v – скорость течения; 315° – направление по нормали к сечению пролива;
 $Q_{\text{пр}}$ – площадь сечения пролива, занятая прямым потоком (изотахи положительные);
 $Q_{\text{обр}}$ – площадь сечения пролива, занятая обратным потоком (изотахи отрицательные)

Для исследования короткопериодной изменчивости обменных процессов получены статистические зависимости расхода воды прямого и обратного потоков через Кинбурнский пролив от интенсивности изменения уровня воды в вершине лимана (с. Касперовка) за период с 1975 по 2012 гг., имеющие корреляционные отношения 0,95 и 0,96:

$$Q_{\text{пр}} = -9,3J^3 + 147J^2 - 736J + 1246, \quad (6.1)$$

$$Q_{\text{обр}} = 5,1J^3 + 120J^2 + 531J + 727. \quad (6.2)$$

Здесь $Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{обр}}$ – измеренные в Кинбурнском проливе расходы воды прямого (из лимана в море)

и обратного (из моря в лиман) направлений, $\text{м}^3/\text{с}$; $\pm J$ – средняя интенсивность изменения уровня воды (знак плюс соответствовал подъёму уровня, минус – спаду) на водомерном посту в с. Касперовка, $\text{см}/\text{ч}$. Прямой поток относился к расходной составляющей баланса воды Днепроовско-Бугского лимана, а обратный – к приходной (табл. 3.2, с. 89). Выбор расчётного периода был обусловлен наличием ежечасных наблюдений за изменчивостью уровня воды на водомерном посту в с. Касперовка только с 1975 г. Полученные зависимости (6.1), (6.2), представлены на рис. 6.11.

Из рис. 6.11 следует, что рост уровня воды у нижней границы дельты р. Днепр ($+J$) соответствовал уменьшению прямого и увеличению обратного потока через пролив, а падение уровня – увеличению прямого и уменьшению обратного потока. Следовательно, расходы воды в проливе

Рисунок 6.11 – Зависимость прямого (а) и обратного (б) расходов воды через Кинбурнский пролив ($Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{обр}}$, $\text{м}^3/\text{с}$) от средней за период измерения интенсивности изменения уровня воды в с. Касперовка ($\pm J$, $\text{см}/\text{ч}$)

зависели от скорости притока морской воды в лиман или оттока из него (что и отражала интенсивность изменения уровня воды в с. Касперовка) в большей степени, чем от расходов воды р. Днепр (в этом случае рост уровня у нижней границы дельты зависел бы от сбросов ГЭС, чего не отмечалось [86; 123; 216]). В связи с «распластыванием» волн попусков в нижнем бьефе Каховской ГЭС [86; 216, с. 113–116, 143–145], расход воды р. Днепр мог влиять не столько на уровень воды в с. Касперовка, сколько на увеличение скоростей течения в проливе из-за ограниченности его пропускной способности при увеличении объёма

воды в лимане. Однако в часовом интервале, за который определялся расход воды в Кинбурнском проливе, влияние этого фактора не проявлялось, что позволило в расчётах ежечасных значений составляющих обмена через пролив считать сток р. Днепр квазипостоянной величиной, как и в работе Скриптунова Н.А. [324]. Введение в формулы расчёта ежечасных значений результирующего расхода воды через Кинбурнский пролив «суммарного среднесуточного расхода воды» рек Днепр и Юж. Буг (без учёта его внутрисуточных колебаний и «времени добегания» воды этих рек до пролива), как это сделано в работе [320, с. 82], представляется искусственным (Глава 1, с. 34–35), так как влияние на обменные процессы может оказывать не среднесуточный расход (остающийся квазипостоянным в течении рабочей недели [216, с. 145]), а его внутрису-

точные колебания, обусловленные суточным регулированием стока [216, с. 116]. Скорее можно согласиться с мнением ряда авторов [295; 324] о незначительной роли стока в изменчивости скорости течений на устьевых взморьях. Кроме возможного влияния уменьшения сбросов Каховской ГЭС в ночное время и в выходные дни [86], разброс точек на рис. 6.11 может быть обусловлен несовпадением сгонно-нагонных, приливо-отливных, бризовых и сейшевых колебаний уровня, изменяющих распределение скорости течения в сечении пролива (рис. 6.10), а также погрешностями измерений и расчёта обменных составляющих.

Зависимости, типа представленных на рис. 6.11, а также уравнения, вида

$$\Theta_{\text{пр}}, \Theta_{\text{обр}} = f(\pm J, t_{\text{пр}}, t_{\text{обр}}), \quad (6.3)$$

$$t_{\text{пр}}, t_{\text{обр}} = f(t_{\text{Оч}}), \quad (6.4)$$

полностью приводимые в [190; 197; 216, с. 464–466], использованы для анализа изменчивости переноса воды, тепла и солей через пролив при отсутствии данных, для разработки расчётных методов, позволяющих по стационарным наблюдениям на водомерных постах давать приближённую оценку составляющих обменных процессов в проливе с дискретностью от 1 часа и более. В формулах (6.3), (6.4) $\Theta_{\text{пр}}, \Theta_{\text{обр}}$ – средние за время измерения расходы тепла через Кинбурнский пролив прямого и обратного потоков, 10^{10} Вт; $\pm J$ – средняя интенсивность изменения уровня воды в с. Касперовка, см/ч; $t_{\text{пр}}, t_{\text{обр}}$ – температура воды соответствующего потока, рассчитанная по температуре воды в г. Очакове ($t_{\text{Оч}}$), интерполированной на середины интервалов измерений в проливе, °С. Расчёт выполнялся отдельно для периода нагрева, охлаждения и экстремальных значений [216, с. 465]. Удовлетворительное совпадение измеренных и рассчитанных по уравнениям (6.1)–(6.4) значений расходов воды и тепла иллюстрирует фрагмент, представленный на рис. 6.12.

Рисунок 6.12 – Фрагмент ежечасной изменчивости расхода воды (а) и тепла (б) в Кинбурнском проливе прямого ($Q_{\text{пр}}, \Theta_{\text{пр}}$) и обратного ($Q_{\text{обр}}, \Theta_{\text{обр}}$) направлений в сентябре 1976 г.

Обеспеченность предлагаемого метода расчёта 98%, погрешность ± 17 %. Отклонение рассчитанных значений расходов тепла через пролив от измеренных величин не превышала указанной погрешности в 72 % случаев (оценка выполнялась по [133]).

Для расчёта средних годовых и средних многолетних значений водообмена через Кинбурнский пролив использовалась методика, рекомендованная в [62] и апробированная Альтманом Э.Н. для расчёта водообмена через пролив Босфор. В основу расчёта положены зависимости между прямыми (а также обратными) расходами воды ($Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{обр}}$) и их результирующими значениями переноса ($Q_{\text{рез}}$). Аналитическое выражение зависимости $Q_{\text{пр}} = f(Q_{\text{рез}})$, график которой представлен на рис. 6.13, имело вид

$$Q_{\text{пр}} = 2 \cdot 10^{-21} Q_{\text{рез}}^6 + 4 \cdot 10^{-18} Q_{\text{рез}}^5 - 6 \cdot 10^{-13} Q_{\text{рез}}^4 - 5 \cdot 10^{-10} Q_{\text{рез}}^3 + 8 \cdot 10^{-5} Q_{\text{рез}}^2 + 0,5 Q_{\text{рез}} + 970, \quad (6.5)$$

а обратный поток ($Q_{\text{обр}}$), эмпирическая зависимость которого от $Q_{\text{рез}}$ также представлена на рис. 6.13, рассчитывался по формуле

$$Q_{\text{обр}} = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{рез}}. \quad (6.6)$$

Здесь $Q_{\text{пр}}$ – прямой поток, направленный из лимана в море, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{обр}}$ – обратный поток, направленный из моря в лиман, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{рез}}$ – результирующий перенос, $\text{м}^3/\text{с}$, равный их разности и имеющий направление преобладающего потока.

Рисунок 6.13 – Зависимость прямого ($Q_{\text{пр}}$) и обратного ($Q_{\text{обр}}$) расходов воды от результирующего потока ($Q_{\text{рез}}$) через Кинбурнский пролив

Для определения годовых значений водо-, соле- и теплообмена между Днепровско-Бугским лиманом и прилегающей, открытой частью устьевоего взморья использовалось уравнение водного баланса лимана в упрощенном виде

$$W_{\text{рез}} = W_{\text{рек}} + W_{\text{ос}} - W_{\text{ис}}, \quad (6.7)$$

где $W_{\text{рез}}$ – результирующий перенос воды за год через пролив, равный разности между объёмами

прямого и обратного потоков ($W_{\text{пр}}$, $W_{\text{обр}}$), км³; $W_{\text{рек}}$ – суммарный сток рек Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец, км³; $W_{\text{ос}}$, $W_{\text{ис}}$ – объёмы осадков и испарившейся воды, км³. $W_{\text{пр}}$ входит в расходную, $W_{\text{обр}}$ – в приходную части баланса. $Q_{\text{рез}}$ получено путём деления годового значения $W_{\text{рез}}$ на продолжительность года ($31,54 \cdot 10^6$ с), а затем по нему с помощью уравнений (6.5) и (6.6) рассчитаны средние годовые величины $Q_{\text{пр}}$ и $Q_{\text{обр}}$. Количественные значения составляющих годового водного баланса приведены в табл. 3.2 (**Глава 3**, с. 89).

Так как расходы воды в Кинбурнском проливе измерялись при комплексном воздействии всех основных факторов водообмена и являлись интегральной характеристикой обменных процессов, расчёт водообмена выполнялся без дифференциации по отдельным составляющим (стоковой, ветровой и пр.), как делалось ранее авторами [156; 299; 329], и это повысило его точность [220]. Оценка ежечасных составляющих теплообмена по зависимостям типа (6.3), (6.4), минуя расчёт водообмена [189; 190], оказалась точнее, чем традиционный расчёт расхода тепла по расходу воды в проливе и средней температуре воды, как в работе [320, с. 53].

Кроме приливо-отливных, сгонно-нагонных бризовых и сейшевых изменений уровня воды устьевого взморья, влиять на внутрисуточную изменчивость водообмена в проливе могли сток рек Днепр и Юж. Буг (7 % от стока р. Днепр) и разность плотности морской и пресной воды [216, с. 467–472; 261]. Оба последних фактора, как и приливы-отливы, в отличие от ветра, действовали постоянно, являясь «фоновыми». Увеличение сбросов Каховской ГЭС способствовало распреснению поверхностного слоя воды в районе пролива и активизировало стоковые течения, которые часто усиливались преобладающими сгонными ветрами, что приводило к увеличению прямого потока через пролив. В придонном слое более плотная морская вода поступала в лиман. При этом, чем больше был градиент плотности (солёность придонной воды), тем интенсивнее были обратные плотностные течения. Поэтому уменьшение площади сечения пролива, занятой обратным потоком (из-за увеличения прямого потока), могло компенсироваться увеличением скорости его перемещения в лиман, особенно, при компенсационных течениях. Суточное и недельное регулирование стока Каховской ГЭС (**Глава 3**, с. 81–84), в среднем, не нарушало механизма обмена через пролив в часовом интервале изменчивости. Максимальный обратный поток через пролив (рис. 6.14) и максимальный уровень воды (рис. 3.4) в вершине Днепровского лимана (с. Касперовка) отмечались в среднем на 5 часов раньше (в 18 ч), чем максимальные сбросы ГЭС, приуроченные к 20 ч. летом и 22 ч. зимой. Они способствовали дополнительному поступлению воды в восточную часть Днепровского лимана (увеличивая скорости течения, но не увеличивая при этом уровень воды в с. Касперовка) и через Сакенский пролив – в южную часть Бугского лимана, создавая в последнем подпор, увеличивая уровень воды в его вершине (рис. 3.4, с. 83). Падение нагрузки на гидроагрегаты Каховской ГЭС (обычно, с 23 час) совпадало с уменьшением уровня воды в Кинбурнском проливе (из-за отлива и берегового бриза), и аккумулировавшаяся в

лимане вода поступала в море, активизировался прямой поток. Кроме того, максимальные значения прямого потока через пролив были зафиксированы не в период максимальной водоносности р. Днепр, а при сильных сгонных ветрах или сейшах. При больших попусках Каховской ГЭС пропускная способность Кинбурнского пролива была недостаточной для пропуска всей массы

Рисунок 6.14 – Средние суточные (слева) и средние месячные (справа) расходы воды (а), m^3/s , тепла (б), 10^{10} Вт , и солей (в), t/s , в Кинбурнском проливе Днепровско-Бугского лимана

воды, уровень в г. Очакове повышался, что способствовало увеличению компенсационного обратного потока. Поэтому прямо пропорциональной зависимости ежечасного результирующего (и прямого) потока через пролив от расхода воды рек, как показано в [320, с. 82, 83], построенной по 17 и 22 расходам воды через Кинбурнский пролив из 679 измеренных [320, с. 29], по всем данным наблюдений (818-ти измеренными расходам воды) не получено.

По-видимому, основным, постоянно действующим фактором, генерирующим циклические колебания расходов воды через Кинбурнский пролив, являются приливы-отливы. Несмотря на незначительность их воздействия на уровень Чёрного моря (приливо-отливные изменения

уровня в Днепровско-Бугском лимане составляли 5–19 см [62; 179; 213]), можно считать, что вывод Тимченко В.М. [342, с. 83–84] о существенной роли приливов и отливов в обменных процессах между лиманами СЗЧМ и морем подтвердился, так как наибольший вес, по данным анализа рядов наблюдений за течениями на многосуточных и буйковых станциях в Кинбурнском проливе (а также в Днепровско-Бугском лимане, на взморьях р. Дунай, р. Бельбек и в СЗЧМ), имела полусуточная цикличность в смене направления течений и, в среднем, дважды в сутки изменялось направление переноса. Это также согласуется с выводами работы [62, с. 352] о том, что в районе Кинбурнского пролива наблюдались «неправильные полусуточные мелководные» приливы, которые распространялись вдоль северо-западного шельфа с запада на восток, и работы [179, с. 16], где говорится о согласованности пиков в спектрах изменений уровней и течений. Внутрисуточная изменчивость уровня подтверждает этот вывод (**Глава 3**, рис. 3.4, с. 83). Аналогичная изменчивость водообмена через Кинбурнский пролив приведена и в работе [320, с. 44]. Но в Таганрогском заливе Азовского моря [189; 320, с. 109] экстремумы отмечаются позже на 5–6 ч. Причём, если внутрисуточные изменения расходов воды в Кинбурнском проливе авторы работы [320, с. 42] объясняют воздействием речного стока, бризами и приливами, то те же изменения водообмена в Таганрогском заливе они связывают только с бризами [320, с. 108], что ничем не обосновывается. Очевидно, что природа внутрисуточной изменчивости составляющих водообмена (как и уровня воды, и течений) в обоих проливах общая – они обусловлены собственными для морей приливо-отливными явлениями, астрономического и радиационного генезиса, как правильно показано в работе Медведева И.П. и Куликова Е.А. [179].

Действие гравитационных приливов-отливов усиливалось радиационными, особенно в тёплый период года, когда и выполнялось наибольшее количество измерений расходов воды, тепла и солей в створе Кинбурнского пролива, поэтому суточная составляющая приливов тоже усиливалась. Только устойчивый, продолжительный и сильный ветер (средней повторяемостью 3–4 % в год) вносил существенные изменения в сложившуюся систему течений (рис. 3.6, 6.10) и водообмена через пролив. Устойчивые сгонно-нагонные ветра, со скоростями 10–15 м/с и более, нарушали периодичность изменения составляющих обмена внутри суток – устанавливался однонаправленный поток, который после ослабления действия ветра быстро замещался компенсационным потоком обратного направления [123, с. 245; 207; 216, с. 161]. В среднем сгонно-нагонные явления отмечалось раз в 9–15 дней и были кратковременными. Оказалось, что в проливе преобладал двухслойный поток (рис. 6.10б, в): прямого (от поверхности до глубины 5,5 м) и обратного (от 5,5 м до дна) направлений. «Ядро» переноса (максимальные скорости течения) прямого направления располагалось в верхнем 2-метровом слое, а максимальный перенос обратного направления имел два «ядра» – в слое 7–8 м и в придонном слое. Активизация обратного потока в придонном слое, очевидно, была связана с действием градиента плотности, который способство-

вал плотностным течениям в глубоководном судоходном канале. Комплексное воздействие указанных факторов иногда приводило к тому, что картина переноса через пролив усложнялась, по глубине нулевое значение скорости и изменение направления течения наблюдались 2 и более раза (рис. 6.10а). Повторяемость таких ситуаций составляла около 27 %.

В отличие от водообмена, ежечасные составляющие переноса тепла и солей, полученные по натурным наблюдениям в проливе, можно использовать только для анализа краткосрочных изменений. Расчёт средних многолетних значений составляющих тепло- и солеобмена (для балансовых оценок, приведенных на с. 105–108, 130, 131) по непосредственным измерениям ингредиентов в проливе, как это было сделано ранее в работе [216, с. 466], дал приближённые результаты. По-видимому, это объясняется тем, что смешение разнородных вод (по температуре и солевому составу) не сказывалось на направлении преобладающего переноса (превалировала адвекция воды вдоль продольной оси пролива), так как скорости течения в устье пролива увеличивались. В то же время, увеличивалась турбулентная диффузия контактирующих потоков и изменчивость всех характеристик, процессы взаимодействия пресных и солёных вод усложнялись, количество движения, солей и тепла передавались не только вдоль пролива, но и осуществлялся обмен между прямым и обратным потоками (например, солёность прямого потока увеличивалась, а обратного уменьшалась). Следовательно, разнородность смешивающихся водных масс в проливе существенно влияла на точность определения средней концентрации веществ (или температуры) разнонаправленных потоков. Поэтому средние многолетние составляющие обмена теплом, солями, биогенными и загрязняющими веществами через Кинбурнский пролив (**Глава 3, 4**) рассчитывались путём умножения средней температуры (солёности, концентрации веществ) верхнего слоя воды в лимане, перемещавшегося к морю, или придонного слоя воды прилегающей северо-западной части Черного моря, перемещавшейся в лиман, на расход воды, прямого или, соответственно, обратного направления. Результаты расчётов представлены в табл. 3.6, 3.9, 4.4, 4.7, 4.11.

Анализ суточного хода водо-, соле- и теплообмена через пролив по натурным данным показал, что максимальный сток воды, тепла и солей из Днепровско-Бугского лимана в море (и минимальный приток из моря в лиман) отмечался в 3 ч., минимальный прямой поток (и максимальный обратный) – в 18 ч. местного времени (рис. 6.14). Ночью и ранним утром преобладали течения из лимана в море, уровень воды лимана (рис. 3.4), её солёность в Кинбурнском проливе (рис. 4.4) и перепад уровня вдоль продольной оси Днепровского лимана (рис. 6.15) уменьшались, а перепад уровня вдоль продольной оси Бугского лимана, прямой и результирующий поток из лимана в море увеличивались (рис. 6.14, 6.15). Максимальный результирующий расход воды, направленный в море, в среднем достигал 4100 м³/с. При этом попуски Каховской ГЭС были минимальными [216, с. 116], а береговой бриз имел максимальное развитие [62, с. 35].

Рисунок 6.15 – Суточная изменчивость перепада уровня воды (ΔH , см) вдоль продольных осей Днепровского и Бугского лиманов и результирующего расхода воды в Кинбурнском проливе ($Q_{рез}$, $10^3 \text{ м}^3/\text{с}$)

С 6 ч. до 12 ч. отмечался двухслойный поток, при этом прямой расход воды, тепла и солей был примерно в 2 раза больше обратного потока (рис. 6.14), результирующий расход воды стабилизировался на уровне $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 4.15). В этот период, к 6 ч., перепад уровня в Днепровском лимане уменьшался в среднем до 0,7 см, и в 9 ч. наблюдался минимальный уровень в районе пролива, а уровень воды в вершине лимана начинал увеличиваться. В поверхностном слое воды отмечались градиентные течения, направленные в море (поддерживаемые увеличивающимися сбросами из водохранилища и береговым бризом, действовавшим до 12 ч.), а в проливе, в придонном слое, активизировались течения, направленные в лиман, солёность воды увеличивалась (рис. 4.4). К 15 ч. роль прямого потока в обмене через пролив снижалась до минимума (рис. 6.14) и возрастал вклад обратного потока, который усиливался морским бризом и приливом. К 18 ч. обратный поток становился максимальным, а максимальный результирующий поток, направленный в лиман, в среднем достигал $2400 \text{ м}^3/\text{с}$. Интенсивность роста уровня воды увеличивалась, его перепад вдоль оси Днепровского лимана имел максимальное значение, 7 см, в 21 ч., в это время перепад уровня вдоль оси Бугского лимана был менее 1 см, течения были направлены из Днепровского лимана в Бугский, уровень и солёность поверхностного слоя воды в нём в 21 ч. увеличивались до максимальных значений (рис. 3.4, 4.4).

Таким образом, суточный ход уровня воды, течений и солёности (рис. 3.4, 4.4) согласовывался с указанными особенностями водообмена через Кинбурнский пролив (рис. 6.14, 6.15). В то же время, сток р. Днепр имел максимум в 22 ч., минимум – в 5 ч. Следовательно, в суточном диапазоне изменчивости доминировало влияние водообмена через пролив на уровень и солё-

ность воды в лимане [222], и перепад уровня воды вдоль продольной оси Днепровского лимана (независимо от причин его вызывающих), выраженный интенсивностью его изменения в вершине лимана (с. Касперовка), является основным предиктором, по которому можно оценивать краткосрочную изменчивость обменных процессов в двумерном проливе, такого типа как Кинбурнский. Поэтому введение в формулы расчёта ежечасных составляющих обменных процессов через проливы дополнительных параметров (стока рек, «средней часовой скорости изменения уровня воды в г. Николаеве» и пр., как это было сделано в работе [320]), не вскрывает механизма обменных процессов и не улучшает результатов количественных оценок.

Ход расчётных значений обмена через пролив, так же как и измеренных, подтверждал наличие мелкомасштабной изменчивости его составляющих. В 14–15 ч. происходила смена направления результирующего потока: сток из лимана сменялся притоком в лиман. Обратный поток воды, тепла и веществ в лиман преобладал с 15 до 21 ч., а в 22–23 ч. результирующий поток изменял направление на противоположное – из лимана в море. В периоды смены направления потока результирующая была равна нулю. Краткосрочные изменения водо-, соле- и теплообмена имели полусуточные и суточные колебания расходов воды, тепла и солей. Основной вклад в эти изменения вносил расход воды через пролив (рис. 6.14, 6.15).

Для практического применения была рассчитана повторяемость и обеспеченность расходов воды прямого и обратного направлений переноса через Кинбурнский пролив. Установлено, что 45 % расходов воды прямого и 56 % обратного направлений не превышали $1000 \text{ м}^3/\text{с}$. Вероятность однонаправленного прямого потока составляла 14 %, обратного – 6 %, в остальных случаях в проливе преобладал разнонаправленный перенос воды, тепла и солей.

Оказалось, что при прямом расходе воды, равном $5000 \text{ м}^3/\text{с}$, в устье судоходного канала отмечался клин солёной воды, перемещавшийся в лиман. Прямой поток «замыкал» обратный (то есть $Q_{\text{обр}} = 0$) при $5400 \text{ м}^3/\text{с}$, и был равен нулю при достижении обратным потоком значения $4500 \text{ м}^3/\text{с}$, что обусловлено большей плотностью (массой) солёной воды, поступавшей в виде клина по каналу, и тем, что расходы прямого потока в среднем превышали расходы потока обратного направления. Поэтому мнение авторов работы [320, с. 44] о том, что «за пределами интервала $\pm 3000 \text{ м}^3/\text{с}$ расход воды (в Кинбурнском проливе) бывает только однонаправленным», не соответствует ни натурным ([320], прил. 2, с. 146–153), ни расчётным данным.

Средние месячные расходы воды в Кинбурнском проливе (в отличие от ежечасных) зависели от среднего месячного расхода воды р. Днепр (рис. 6.14). Для периода с апреля по ноябрь эти зависимости (коэффициенты корреляции которых были равны 0,95–0,97) имели вид

$$Q_{\text{пр}} = 1,7Q_{\text{Дн}} + 186, \quad (6.8)$$

$$Q_{\text{обр}} = -0,9Q_{\text{Дн}} + 2230, \quad (6.9)$$

$$Q_{\text{рез}} = 2,6Q_{\text{Дн}} - 2040, \quad (6.10)$$

где $Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{обр}}$, $Q_{\text{рез}}$ – средний месячный прямой, обратный и результирующий расход воды в Кинбурнском проливе, м³/с; $Q_{\text{Дн}}$ – средний месячный расход воды р. Днепр у Каховской ГЭС, м³/с. Влияние других факторов на этом масштабе осреднения имело меньшее значение, так как оно взаимно нивелировалось (например, приливы-отливы, сгоны-нагоны, сейши, изменение атмосферного давления, бризы и др.).

Полученные зависимости приемлемы для приближённой оценки средних месячных составляющих водообмена в проливе (в тёплый период года, так как, начиная с ноября, данных наблюдений недостаточно), в диапазоне средних месячных расходов воды р. Днепр от 500 до 2400 м³/с. Средние за многолетний период (1965–2012 гг.) месячные расходы воды р. Днепр изменялись от 760 м³/с (сентябрь) до 1940 м³/с (май). С учётом их изменчивости, характеризовавшейся C_v , 0,30–0,70, данные зависимости охватывали 75 % амплитуды колебаний средних месячных расходов воды р. Днепр.

Средние месячные расходы тепла в проливе зависели не только от расхода воды р. Днепр, но и от температуры воды в районе пролива. Поэтому в сезонном ходе расхода тепла прямого направления отмечалось два пика – при максимуме прямого потока воды (в мае) и при максимальной температуре воды (в июле). Влияние температуры воздуха на глубоководные слои сказывалось в меньшей степени, поэтому средний месячный расход тепла обратного направления изменялся так же как расход воды и солей.

Средний месячный расход воды р. Днепр оказывал влияние и на расход солей в Кинбурнском проливе. В период повышенного стока рек происходило распреснение поверхностного слоя воды, и величина расхода солей, направленного в море, уменьшалась, несмотря на увеличение прямого потока (рис. 6.14). Отток воды и солей из лимана компенсировался поступлением в придонном слое обратного потока, меньшего по объёму, чем прямой, но имеющего бóльшую солёность, поэтому в мае–июне расходы солей прямого и обратного потока имели близкие значения. В межень, когда сток рек был минимален, солеобмен через Кинбурнский пролив увеличивался.

Результаты расчёта составляющих обменных процессов в Кинбурнском проливе приведены в табл. 6.3. Эмпирические данные о разнонаправленных расходах воды, тепла и солей свидетельствовали о большой изменчивости всех рассматриваемых составляющих. Расход воды изменялся в пределах ± 13000 м³/с, тепла – от $112 \cdot 10^{10}$ до минус $58 \cdot 10^{10}$ Вт, солей – от 150 до минус 111 т/с. Коэффициент вариации расхода воды, солей и тепла в проливе любого направления составлял 1,1–1,2. Наиболее изменчив был результирующий расход воды. В рассматриваемый период значимых тенденций составляющих обмена через пролив не обнаружено.

В среднем, многолетний водообмен ($|Q_{\text{пр}} + Q_{\text{обр}}|$) через Кинбурнский пролив был равен 72,6 км³ (в 1,6 раз больше суммарного стока рек), тепла – $3,53 \cdot 10^{18}$ Дж, солей – 433 млн. т, ГЭБЦ

– 220 тыс. т и ЗВ – 25,4 тыс. т в год. Более подробные сведения об обменных процессах в проливах представлены в работах автора [189; 216; 222].

Таблица 6.3 – Средние многолетние и экстремальные характеристики водо-, соле- и теплообмена через Кинбурнский пролив по натурным данным за 1965–2012 гг.

Составляющая переноса	Расход								
	воды, м ³ /с			тепла, 10 ¹⁰ Вт			солей, т/с		
	сред.	наиб.	наим.	сред.	наиб.	наим.	сред.	наиб.	наим.
прямой поток	2000	13000	0	12,7	112	0	16,0	150	0
СКО	C _v	2160	1,1		15,7	1,2		19,6	1,2
обратный поток	1300	13000	0	9,93	58	0	15,5	111	46,7
СКО	C _v	1510	1,2		11,5	1,1		18,2	1,2
результатирующий	700	13000	-13000 ^{*)}	2,77	112	-58 ^{*)}	0,50	150	-110 ^{*)}
СКО	C _v	3300	4,7		23,7	8,6		32,7	78,3

Примечание – ^{*)} – отрицательный результирующий поток имел обратное направление.

6.4 Процессы взаимодействия речной и морской воды

Динамическое взаимодействие разнородных вод в морских устьях рек сопровождается их адвекцией, смешением, диффузией, изменением химического состава, коагуляцией, осаждением частиц и другими устьевыми процессами, что часто проявляется видимыми фронтальными зонами (фронтами [107; 108; 354]) и отчётливо заметным на снимках смешением мутных речных (или лиманных) и более прозрачных морских вод (рис. 6.16). И хотя этому вопросу посвящена многочисленная литература [32; 35; 100; 379; 395; 407; 417], процессы взаимодействия в устьях рек северо-западной части Чёрного моря остаются недостаточно изученными.

Рисунок 6.16 – Фронт на устьевом взморье р. Дунай (а), фронтальная зона на взморье рек Днепр и Юж. Буг (б) и вид зоны смешения на взморье рук. Быстрого р. Дунай (в)

фото (а, в) предоставлено Корниловым М.В. и Черой А.И. (ДГМО),
спутниковое изображение 05.08.2006 (б) – Станичным С.В. (МГИ РАН)

В соответствии с рекомендованной в [354] терминологией, на устьевых взморьях рек выделяют «фронтальную зону», с выраженным «фронтальным разделом» («эстуарным фронтом», который формируется в эстуарии и «стоковым фронтом», который «ограничивает линзу распреснённых вод в открытом море» [354, с. 185]), или «зону трансформации» [32; 72], иногда называ-

емую «зоной смешения» [233]. Часто в современных литературных источниках «зону смешения» или «фронтальную зону» называют также «маргинальным фильтром» или «геобиохимическим барьером», «геобарьерной зоной», «эстуарным барьером», «солевым барьером», «приустьевой зоной» и т. п. [69; 72; 88; 166; 237; 238 и др.] Фактически – это зона взаимодействия (физического, химического и биологического) разнородных водных масс, речной и морской воды. Определение внешних границ этой зоны сводится к установлению границ морского устья реки, а изучение её структуры необходимо для выделения относительно однородных областей, с характерным для них преобладанием процессов взаимодействия. При всём многообразии исследований и наименований этой зоны, основным индикатором изменчивости широкого спектра устьевых физико-химических процессов и удобной характеристикой для её выделения и структуризации обычно является солёность воды [32; 35; 48; 69; 99; 100; 107; 116–120; 125; 131; 166; 233; 303; 304; 335; 343; 361; 372 и др.], реже – компоненты карбонатной системы, концентрация взвеси и другие параметры [256]. Так например, Повалишниковой Е.С., Белокопытовым В.Н. предлагалось использовать T,S -анализ для районирования прибрежных акваторий и выделения водных масс моря. Однако такие попытки нельзя назвать удачными, так как этим методом выполнить детальное районирование в зоне влияния стока рек не удавалось из-за существенной изменчивости значений солёности и температуры воды. Пример T,S -анализа, выполненный в работе [125, с. 77], показан на рис. 6.17. Из него видно, что водная масса, солёностью менее 18 ‰, не подлежит детальному районированию из-за существенного разброса точек на диаграмме.

Рисунок 6.17 – T,S -диаграмма вод Чёрного моря из работы [125]
ПрЧВМ – прибрежная черноморская водная

Поскольку в рассматриваемом регионе солёность воды оказалась недостаточно эффективным критерием районирования и исследования процессов взаимодействия речных и морских вод [32], характеристика зоны взаимодействия разнородных вод в рассматриваемых устьях рек, а также количественные оценки её отдельных структурных компонентов получены на основе анализа изменчивости солёности воды [208; 216, с. 276–279, 438–441; 219; 224], т.е. её коэффициента вариации (Глава 4, с. 121–

128, рис. 4.3, 4.7). Для этого использовались средние многолетние значения солёности воды и её коэффициента вариации (C_v), рассчитанные по срочным значениям в каждой точке отбора проб по общепринятым формулам, представленным в работе [296]. Так как случайные ошибки средних многолетних значений солёности воды и её C_v , определенные в соответствии с рекоменда-

ями [297], не превышали 10 % в устьях больших рек и 2 % в устьях малых рек, полученные средние многолетние величины солёности можно принять за норму, а C_v – считать достоверным критерием для выполнения районирования зоны взаимодействия пресной и осолонённой воды.

Оказалось, что изменчивость солёности воды устьевых взморьев больших и средних рек (Дунай, Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец) больше, чем малых, так как сток последних в среднем оказывал на них меньшее распресняющее влияние. Так C_v солёности на взморьях рек Дунай, Днепр и Юж. Буг изменялся в пределах 0,1–1,5, а в устьях рек Чёрная и Бельбек – 0,02–0,7 (исключая относительно небольшие участки, находящиеся непосредственно у места впадения реки в приёмный водоём). Использование коэффициента вариации солёности для анализа процессов взаимодействия разнородных вод в морских устьях рек обосновано тем, что изменчивость солёности воды характеризовала степень распространения устьевых процессов в море и реку. В морской воде солёность имела наибольшие значения, её изменчивость была несущественна (Глава 4, рис. 4.5, с. 125, рис. 4.7, с. 128) и близка к ошибке определения [62]. Максимальная изменчивость солёности была характерна для районов впадения устьевых водотоков и прилегающих к ним частей взморьев, где происходила быстрая смена водной массы под действием разных факторов. По направлению к вершинам устьев значения солёности и её изменчивость уменьшались.

Пространственную изменчивость средней многолетней солёности воды и её C_v по продольным разрезам устьевых взморьев рек Дунай, Днепр и Чёрная иллюстрирует рис. 6.18, из которого очевидно совпадение изолиний минимальных значений C_v с максимальными изогалинами, мористее которых преобладала однородная водная масса, в большую часть года практически не подверженная распреснению. В устьевые водотоки за пределы критериальных границ, где отмечалось совпадение минимальных значений солёности с минимальными значениями C_v , осолонение в среднем не распространялось, и отмечалась однородная по минерализации речная вода. Вне указанных границ (как верхней, так и нижней) значения C_v не превышали ошибок средних величин солёности (соответственно, 10 % и 2 % для устьев больших и малых рек). Поэтому критериальными выбраны минимальные значения C_v , равные 0,1 (для устьев больших рек) и 0,02 (для устьев малых рек). Изменчивость солёности водной масса, расположенной вне указанных пределов (как на взморьях, так и в устьевых водотоках), была минимальна, практически C_v оставался постоянным. Следовательно, за критериальными пределами процессы многофакторного взаимодействия речных и морских вод были не выражены: речная вода поступала за морскую и морская вода за речную границу зоны их взаимодействия в исключительных случаях (сильный нагон в межень, большой паводок или половодье). Поэтому принята гипотеза о том, что устьевые процессы и явления (кроме подпора при нагонных и др. явлениях, который может распространяться на значительные расстояния от взморья, и экстремальных паводков и половодья) в основном были выражены исключительно между выбранными по C_v границами.

Рисунок 6.18 – Структура зоны взаимодействия речной и морской воды на взморье рук. Быстрый р. Дунай (а), вдоль осей Днепровского лимана (б) и Севастопольской бухты (в) по изменчивости солёности воды S , ‰ (г, д, е) и её коэффициента вариации C_v (ж, з, и)
Области: 1 – адвекции речной воды; 2 – распреснения; 3 – фронтогенеза; 4 – осолонения; 5 – адвекции морской воды

В соответствии с критериальными значениями C_v , климатические морские границы устьев рек Дунай, Чёрная и Бельбек примерно совпали с изогалиной 17,8 ‰, а рек Днепр и Юж. Буг – 15,8 ‰. За речные границы устьев рек Днепр и Чёрная приняты плотины, р. Дунай – место впадения р. Прут [52; 156; 225], для остальных рек границы показаны на рис. 2.5 (Глава 2, с. 65). В этих пределах показать климатическую зону взаимодействия речной и морской воды целиком затруднительно, поэтому на рис. 6.18 представлены её отдельные фрагменты и примеры её районирования по преобладающим процессам с помощью распределения изогалин и C_v .

Независимо от типа устья, в его пределах выделено по 5 характерных областей (рис. 6.18), с преобладающими в них процессами, а не 3, как полагали ранее [32; 116; 131; 238 и др.]. Причем, границы между этими областями на различных горизонтах проходили между разными значениями изогалин. Например, изогалины в поверхностном слое области фронтогенеза (область 3) имели меньшие значения, чем в придонном. Поэтому далее приводятся средние для рассматриваемых устьев рек градации разграничивающих водные массы изогалин и C_v на средней глубине, а в скобках – граничные изогалины на поверхности и у дна.

В первой области, расположенной в пределах солёности 0,3–1,5 ‰ (нижняя граница проходила по изогалине 1 ‰ на поверхности и 2 ‰ у дна, верхняя совпадала с вершиной устья), под действием стока развивались интенсивные динамические процессы, из которых преобладала ад-

векция. Размеры этой области были обусловлены, в основном, речным стоком, а их краткосрочные изменения имели синоптическую природу или зависели от сбросов из водохранилищ. Область адвекции речных вод разделена на 2 подобласти. В первой подобласти преобладала адвекция речных вод (от вершин устьев до изогалины 0,5 ‰), для неё характерны минимальные значения солёности (менее 0,5 ‰) и C_v (менее критериальных значений). Вода на устьевых участках рек была идентична речной. Во второй подобласти, фрагменты которой показаны на рис. 6.18 (область 1), максимально проявлялись сгонно-нагонные явления, сейши, проникновение галоклина в устьевые водотоки, апвеллинг и др. Здесь отмечалась наибольшая изменчивость солёности воды (C_v – в пределах 0,5–1,5), значения которой варьировали от 0,5 до 2 ‰. В соответствии с исследованиями Гордеева В.В. [69] и Лисицына А.П. [166] для этой подобласти характерным было осаждение песков, песчано-алевритовых наносов, выносимых реками, местами с примесью гравия (рис. 6.19), что подтверждает анализ распределения донных отложений в устьевых водотоках и на устьевых взморьях рассматриваемых рек (рис. 3.8, с. 95). Именно в первой области формируется подводный конус выноса и другие устьевые формы рельефа дна.

Рисунок 6.19 – Схема строения маргинального фильтра по А.П. Лисицыну [69, 166]

Области: 1 – иловая; 2 – органо-минеральная; 3 – биологическая (3а – фитопланктона, 3б – организмов-фильтраторов зоопланктона, 3в – бентоса и макрофитов). Типичные концентрации взвеси в мг/л приведены в рамках

Вторая область (рис. 6.18), ограниченная изогалинами 2–10 ‰ (1–8 ‰ на поверхности и 3–13 ‰ у дна), являлась областью смешения распреснённых вод или областью распреснения вод взморья. Процессы смешения здесь были более интенсивны, чем в областях 1 и 3, так как возрастала роль ветрового перемешивания. Изменчивость солёности воды характеризовалась C_v , равным 0,3–0,7. Между изогалинами 1–4 ‰ в верхнем слое вода хорошо перемешивалась, а в нижнем, эта область граничила с фронтальным разделом (областью 3). Между изогалинами 5–10 ‰ увеличивалась стратификация водной массы, возрастали вертикальные и горизонтальные градиенты всех характеристик и процессы смешения становились менее активными. Взаимодействие разнородных вод в этой области приводило к активизации процессов коагуляции, флокуляции, сорбции и десорбции [69; 166], развитие речных и морских гидробионтов лимитировалось повы-

шенной мутностью воды («мутъевой пробкой» [69]) и неблагоприятной для стеногалинных организмов солёностью воды [69; 166; 357; 358; 372; 373]. В отложениях зоны экологической опасности (рис. 5.8, с. 198), в интервале солёности 5–10 ‰, преобладали алевроито-пелитовые илы (рис. 3.8). В соответствии с моделью «маргинального фильтра» [69, с. 262] для этой области было характерно осаждение не только минерального, но и органического вещества (рис. 6.19).

Между изогалинами 11–14 ‰ (9–13 ‰ на поверхности и 10–14 ‰ у дна), в третьей области, формировалась климатическая фронтальная зона (рис. 6.18), с выраженной стратификацией солёности, которая усиливалась при штилевых условиях. Здесь C_v составлял 0,3–0,7. По наблюдениям Большакова В.С. [32], данным работ [110; 354; 398; 399; 409] и натурных наблюдений [216, с. 440] в этой зоне выражена конвергенция течений. При смене синоптической ситуации фронтальные разделы, обладая большой подвижностью, перемещались на значительные расстояния, без активного перемешивания водных масс, сохраняя значительные градиенты параметров среды (рис. 6.16). Устойчивость термохалинных фронтов, даже после их ветровой рестратификации, как показано в работах Зацепина А.Г., Завьялова П.О., Баранова В.И., Фёдорова К.Н., Lagras J., Garvine R.W. и др. [110; 354; 395; 409], обусловлена повышением солёности (и плотности) при ветровом перемешивании из-за турбулентного вовлечения более солёных вод и компенсацией стоком реки потерь пресной воды из «линзы» за счёт вертикального обмена. При этом на устьевых взморьях рек Дуная и Днестра иногда наблюдалось образование нескольких фронтальных разделов (рис. 6.16), что явилось результатом совместного влияния стока рек и ветра.

Подробнее процесс фронтогенеза на устьевых взморьях изложен в работах [32; 110; 354]. Изолинии солёности в области фронтального раздела имели волнообразный вид как по данным отдельных съёмок, так и при осреднении (рис. 6.18г, д, е). Это объясняется Зыряновым В.Н., Фёдоровым К.Н. и др. [111–113; 354] образованием внутренних волн на поверхности раздела разнородных вод. Фронтальная область отличается от других областей зоны взаимодействия повышенной концентрацией всех видов гидробионтов [94; 372; 373]. По исследованиям Гордеева В.В. и Лисицына А.П. [69; 166] здесь, на верхней границе слоя скачка, происходит аккумуляция взвешенного органического вещества, а к поверхностному слою воды обычно приурочены зоны локального «цветения» фитопланктона [94]. Массовое развитие организмов-фильтраторов, зоопланктона, бентоса в этой области [69; 166] способствует распространению в донных отложениях мидиевых алевроито-пелитовых илов и ракушечника (**Глава 3**, рис. 3.8, с. 95).

Мористее, за областью фронтогенеза, в области 4, между изогалинами 14–17 ‰ (13–16 ‰ на поверхности и 16–17,8 ‰ у дна), распреснённые воды смешивались с более солёной водой и осолонялись, поэтому эта область названа областью смешения осолонённых вод или осолонения вод взморья (область 4, рис. 6.18). Здесь изменчивость солёности уменьшалась (C_v около 0,1–0,2), существенную роль играли ветровое перемешивание и диффузия. Глубже 5–8 м доминировала

вода, солёностью 16–18 ‰, преобладало её преобразование в морскую воду. В работе Гордеева В.В. [69] эта область названа «зоной осветлённой воды» и «зоопланктонной частью маргинального фильтра».

Для пятой области была характерна адвекция воды из прилегающих к устьям частей Чёрного моря, компенсирующая отток воды в море в поверхностном слое. Эта область заглублялась от ограничивающих устьевых взморья на поверхности изогалин (17,8 ‰ для рек Дунай, Чёрная и Бельбек и 15,8 ‰ для рек Днепр и Юж. Буг) до дна, где солёность была выше указанных критерийных значений, и, при определённых условиях (межень, нагон, глубоководный судоходный канал), солёная вода распространялась к вершинам устьев. Изменчивость солёности в этой области уменьшалась до минимума ($C_v \leq 0,1$ на взморьях рек Дунай, Днепр и Юж. Буг и $C_v \leq 0,02$ на взморьях рек Чёрная и Бельбек). За пределами указанных границ устьевых взморьев вода по солёности и C_v (которые практически оставались постоянными) была идентична водной массе прилегающих частей Чёрного моря. Только при максимальном стоке больших рек его влияние распространялось на всю северо-западную часть Чёрного моря [60–62]. Донные осадки устьевых взморья р. Дунай были представлены в этой области фазеолитовыми алевроито-пелитовыми илами, с участками развития железо-марганцевых конкреций (рис. 3.8).

Таким образом, полученные по натурным данным схемы распределения изогалин и C_v (рис. 6.18) демонстрируют наличие во всех устьях взаимосвязанных областей, с преобладавшими в них процессами (адвекции, смешения и диффузии разнородных вод). Данное районирование устьевых взморьев рек согласуется с моделью «маргинального фильтра», предложенного в работах [69, 166], и с распределением донных отложений, представленных на рис. 3.8 по данным работ [19; 33; 94], что свидетельствует в пользу его объективности.

Чем сложнее структура устья и чем больше компонентов в его составе, тем больше разнородных вод участвовали в процессе смешения. Так, вода р. Бельбек на устьевом взморье смешивалась с морской водой, а вода р. Чёрной в Севастопольской бухте – с морской и сточными водами г. Севастополя, формируя водную массу бухты. В Бугском лимане происходило смешение днепровской, бугской, ингульской, морской и днепровско-лиманской воды; на устьевом взморье р. Дунай вода реки смешивалась с морской, а при определённых условиях переноса – с днепровско-лиманской, днестровской и водой северо-западной части Чёрного моря.

В зависимости от сочетания гидрометеорологических условий в различные периоды преобладали разные процессы: при среднем стоке, штиле, небольшом и среднем ветре переменных направлений в поверхностном слое воды наблюдался прямой поток, а в придонном – обратный (рис. 3.5–3.7), распределение солёности соответствовало представленному на рис. 6.18. При большом стоке или сильном сгонном ветре область адвекции речной воды занимала большую часть взморьев, и вода была более перемешана, при малом стоке или нагонном ветре взморье заполня-

лось осолонённой, хорошо перемешанной водой. Из-за небольшого стока рек Крыма в акватории их взморьев обычно преобладала сравнительно однородная водная масса.

Данный подход позволил: определить размеры МУР СЗЧМ (Глава 2, табл. 2.4, с. 70) и их отдельных частей; объёмы областей адвекции пресных вод (W_a) и смешения (W_m); рассчитать коэффициенты взаимодействия (n), характеризующие соотношение объёмов этих областей; коэффициенты влияния стока на устьевые взморья (k) как отношение стока рек к объёму зоны наибольшего влияния (W_s), включающей области 1–3 (рис. 6.18). Установлено, что при различном стоке рек (W), объёмах и площадях взморьев, подверженных его влиянию, отношение (k) стока рек к объёму зоны наибольшего влияния стока на устьевые взморья оставалось примерно постоянным и составляло 10,3–10,5. Эти выводы близки к результатам, полученным Зацепиным А.Г., Завьяловым П.О., Кременецким В.В. и др. в работе [109], в которой указано, что распреснённый слой в Карском море составлял около 14 % среднего годового суммарного стока рек Обь и Енисей, а также к результатам работы *Cade H.G.* [381], определившему, что соотношение толщины распреснённого слоя к радиусу области распреснения остаётся постоянным и, в среднем, стоковая линза р. Ориноко содержит около 11,5 % нормы стока реки.

Следовательно, при климатических ветро-волновых условиях СЗЧМ, независимо от типа устьевых взморьев и нормы стока рек, заметное (визуально с борта судна и на спутниковых снимках, рис. 6.16) влияние стока оказывал на объём устьевого взморья (W_s), в среднем составлявший около 10–11 % годового стока в вершинах морских устьев рек. Остальной объём речных вод трансформировался, формируя сравнительно однородную водную массу областей 4–5 и СЗЧМ. Таким образом, практическое значение коэффициентов k и n заключается в возможности их использования для ориентировочного определения размеров зон распреснения, областей адвекции и смешения по стоку рек, а также морских границ малоизученных устьев рек СЗЧМ, что подтверждается удовлетворительной согласованностью расчётных и полученных по натурным данным значений, представленных зависимостью площадей МУР от стока рек (Глава 3, рис. 3.1).

На основе данных натурных наблюдений получены уравнения (6.11), (6.12), позволившие приближённо рассчитать объёмы областей адвекции и смешения в зависимости от годового стока воды р. Днепр у Каховской ГЭС. Средний годовой объём первой области равен

$$W_a = -0,0002W^2 + 0,054W - 0,60, \quad (6.11)$$

а суммарный объём областей 2–4, в пределах Днепровско-Бугского лимана –

$$W_m = -0,0003W^2 + 0,079W - 0,87. \quad (6.12)$$

Здесь W_a – объём области адвекции (1) речной воды, км³; W_m – объём областей 2–4 зоны смешения, км³; W – сток воды р. Днепр у Каховской ГЭС, км³. При среднем расходе воды, равном 1340

м³/с ($W = 42,2 \text{ км}^3$), W_a составляла около $1,3 \text{ км}^3$, а W_m (в пределах лимана) – около $2,0 \text{ км}^3$. Допускалось, что в годовом масштабе осреднения влияние сгонов и нагонов на изменение указанных объёмов взаимно нивелировалось.

Для количественной оценки вклада процессов адвекции и смешения во взаимодействие разнородных вод на устьевых взморьях использовался коэффициент смешения (n), равный отношению W_a / W_m , определяемый для годового интервала. Уравнение, полученное для Днепровско-Бугского лимана, имело вид

$$n = 8 \cdot 10^{-6} W^3 - 0,0006 W^2 + 0,038 W - 0,49. \quad (6.13)$$

Средний многолетний коэффициент смешения был равен 0,65. В Днепровско-Бугском лимане область адвекции занимала в среднем 39 %, а области смешения разнородных вод, включая область фронтогенеза – 61 % (рис. 6.18д). Очевидно, что чем больше n , тем больше объём области адвекции по отношению к объёму областей смешения (области 2–4, рис. 6.18).

На устьевых взморьях рек Дунай, Бельбек и Чёрная объём области смешения, W_m , значительно превышал объём области адвекции речных вод, W_a (рис. 6.18г, е). На открытом устьевом взморье р. Дунай (рис. 6.18г) ширина области адвекции (от нижней границы дельты) при средних гидрометеорологических условиях была ограничена 1,5–2 км (коэффициент смешения n был около 0,07), там же происходило наиболее интенсивное опреснение воды взморья. Мористее ветровое перемешивание и течения приводили сначала к постепенному (область 4), а затем и полному осолонению, которому способствовал приток морской воды в качестве компенсации оттока поверхностной, более пресной воды. Ниже глубины ветрового перемешивания преобладала однородная водная масса (область 5). На закрытом устьевом взморье р. Чёрной (рис. 6.18е) почти весь объём Севастопольской бухты занимала четвёртая область – смешения осолонённых вод. Сток р. Чёрной в основном влиял на Инкерманский лиман и небольшую, прилегающую часть Севастопольской бухты (только в период паводков его влияние распространялось на всю её акваторию), поверхностный слой которой также опреснялся сбросами сточных и ливневых вод. Ряд исследователей полагает, что в распреснении устьевых взморьев рек Крыма также участвуют подрусловые и субмаринные воды, объёмы которых пока не оценены. В результате ветрового перемешивания и течений глубина распресняющего эффекта в среднем составляла около 4 м ($n \approx 0,01$). Определение коэффициента смешения для устья р. Бельбек не производилось из-за недостатка данных натурных наблюдений.

Конфигурация, размеры и границы устьевой зоны взаимодействия разнородных вод – нестационарные (под действием различных факторов они испытывали многолетние, сезонные, синоптические и прочие изменения). Климатические границы зоны лимитированы нормой стока, их сезонные изменения зависели от его внутригодового распределения, а краткосрочные смещения её границ были связаны со сгонно-нагонными явлениями (повторяющимися 1–3 раза в месяц)

и суточным ходом уровня воды (**Глава 3**, рис. 3.4, с. 83). В периоды повышенной водности больших рек распределяющее влияние стока было максимальным – вся северо-западная часть Чёрного моря опреснялась [61; 62]. При среднем годовом расходе воды р. Днепр, достигавшем в 1970 г. $2600 \text{ м}^3/\text{с}$, Днепровско-Бугский лиман опреснился на 74 %. Почти полное распреденение Днепровского лимана (около 95 %), по расчётам автора, возможно при среднем годовом расходе воды более $4000 \text{ м}^3/\text{с}$. Река Чёрная при паводках опресняла поверхностный слой Севастопольской бухты и даже прилегающую открытую часть устьевоего взморья. Обычно раз в 3–5 лет солёность в центральной части бухты понижалась до 6–10 ‰. В маловодье морские воды осолоняли распреденённые воды устьевых взморьев. При низкой водности года (например, в 1984 г. средний расход воды р. Днепр был равен $780 \text{ м}^3/\text{с}$) опреснению подверглось всего 18 % объёма Днепровско-Бугского лимана, остальная его часть была осолонена в среднем до 12,5 ‰.

Влияние ветра на процессы смешения неоднозначно: с одной стороны, ветер и вызванные им течения способствовали смещению зоны распреденённых вод, изменяя площадь распреденения поверхностного слоя (уменьшая её при нагонах и увеличивая при сгонах), с другой, вызывая ветровое перемешивание, выравнивали солёность воды по глубине. Наблюдались и более сложные ситуации, приводившие к образованию нескольких фронтальных разделов. Механизм трансформации линзы, сформированной стоком рек Енисей и Обь под действием ветрового перемешивания, рассмотренный в работе Зацепина А.Г., Завьялова П.О., Баранова В.И. и др. [110] на основе математического моделирования, подтверждается учащёнными наблюдениями на устьевых взморьях рек Дунай, Днепр и Юж. Буг. Например, при квазипостоянном меженном стоке р. Дунай, $5300\text{--}5410 \text{ м}^3/\text{с}$, сгонном ветре, скоростью 5–10 м/с, 19–22.09.1985 г. течения, в основном, были направлены в море. При этом поверхностный слой воды в районе фронтального раздела (в 20 км от НГД) не опреснялся, а осолонялся с 8 до 12 ‰, а ниже 5-метрового слоя воды её солёность не изменялась или даже уменьшалась (рис. 6.20а). Так, с 12 ч. 20.09 до 06 ч. 21.09 при западном, сгонном ветре 7 м/с, солёность поверхностного слоя воды за счёт вертикального турбулентного обмена увеличилась на 2 ‰, а на горизонте 10 м – уменьшилась на 0,5 ‰.

Аналогичная картина наблюдалась в 70 км от НГД р. Днепр в июне 1982 г. (рис. 6.20б). При сильном сгонном ветре (средней скоростью 8 м/с, порывами до 23 м/с) и малоизменчивом повышенном стоке р. Днепр, $2220\text{--}2460 \text{ м}^3/\text{с}$, вертикальный турбулентный обмен способствовал осолонению поверхностного слоя воды на 11 ‰ и опреснению слоя воды глубже 5 м на 1–2 ‰.

Многофакторность формирования зоны взаимодействия делает вычисление её ежесуточных морфометрических характеристик довольно сложной задачей. Такая попытка впервые сделана автором в работах [190; 216, с. 282–286] для расчёта объёма области адвекции речной воды в Днепровско-Бугском лимане. На основе 157 съёмок получены зависимости объёма воды в лимане, распреденённой до 1 ‰ ($W_a, \text{ км}^3$), от расхода воды р. Днепр у Каховской ГЭС ($Q_{\text{Дн}}, \text{ м}^3/\text{с}$),

осреднённого за 5 сут, включая дату определения W_a , и средней за период съёмки интенсивности изменения уровня воды ($\pm J$, см/ч) в с. Касперовка (вершине Днепровского лимана).

Рисунок 6.20 – Изменение солёности воды (S , ‰) на взморьях р. Дунай 19–22.09.1985 г. (а) и рек Днепр и Юж. Буг 06–07.09.1982 г. (б) за счёт вертикального турбулентного обмена

Вид зависимостей представлен на рис. 6.21, а аналитическое выражение – формулой

$$W_a = 1,3 \ln Q_{Дн} - 0,3J - 8,2. \quad (6.14)$$

Очевидно, что при обратном потоке (росте уровня в лимане, $+J$) зона адвекции пресных вод (W_a) будет меньше, а при прямом потоке (падение уровня, $-J$), наоборот, больше. Коэффициент множественной корреляции зависимости (6.14) равен 0,97. Диапазон изменчивости интенсивности изменения уровня воды у НГД составлял ± 7 см/ч, а расхода воды р. Днепр – 300–5000 м³/с.

Рисунок 6.21 – Зависимость объёма области адвекции (W_a) в Днепровско-Бугском лимане от расхода воды р. Днепр ($Q_{Дн}$) и средней интенсивности изменения уровня воды в лимане ($\pm J$):
1 – 0; 2 – ± 2 ; 3 – ± 2 ; 4 – ± 3 ; 5 – $\pm 4 - 6$ см/ч

Указанные границы изменения взаимосвязанных величин включали большинство характерных для этого морского устья ситуаций, поэтому зависимость можно считать достаточно обоснованной для практических оценок. Согласно представленной на рис. 6.21 связи, увеличение расхода

воды р. Днепр до 5000 м³/с (почти в 4 раза больше годовой нормы) и более приведёт к распространению области адвекции пресных вод практически на весь объём лимана (равный 3,28 км³). Площади области адвекции определялись по распределению солёности воды на стандартных горизонтах, объём области адвекции в период конкретной гидролого-гидрохимической съёмки рассчитывался по формуле

$$W_a = \sum 0,5(S_i + S_{i+1})h_i \dots + S_n h_n, \quad (6.15)$$

где W_a – объём области адвекции, км³; S_i, S_{i+1} – площади, ограниченные изогалиной 1 ‰, на стандартных горизонтах, км²; S_n – площадь на придонном горизонте (в 1 м от дна), км²; h_i, h_n – толщина слоя воды между смежными горизонтами, последним горизонтом и дном в метрах.

Для упрощения расчётов, например, при отсутствии данных о ежечасном уровне воды в вершине лимана, а также затруднениях при определении средней интенсивности его изменения ($\pm J$), получена зависимость (6.16) между объёмом области адвекции (W_a , км³) и расходом воды р. Днепр ($Q_{Дн}$, м³/с) у Каховской ГЭС

$$W_a = (0,009 Q_{Дн}^{0,8} e^{0,0001 Q_{Дн}}) - 1. \quad (6.16)$$

Корреляционное отношение этой зависимости равно 0,96. Область применения уравнения (6.16) ограничена, так как по нему можно рассчитывать только средние за период величины W_a , когда стоны компенсировались нагонами. При среднем расходе воды р. Днепр менее 420 м³/с объём области адвекции в лимане был близок к нулю, а при $Q_{Дн}$ более 4300 м³/с – к объёму Днепровско-Бугского лимана.

Результаты расчёта объёма области адвекции в лимане при средних гидрометеорологических условиях и среднем многолетнем расходе р. Днепр, равном 1340 м³/с, выполненные по разным формулам (6.11), (6.14), (6.16), показали, что расхождения составляли около 7 % (0,1 км³). Средняя многолетняя область адвекции, рассчитанная по формуле (6.11), имела объём 1,4 км³ (около 43 % объёма лимана), при нагоне она уменьшалась в среднем до 0,9 км³ (27 % объёма лимана), а при среднем статистическом стоке – увеличивалась до 1,9 км³ (т.е. занимала 58 % объёма лимана). Расчёт среднего многолетнего объёма области адвекции, выполненный по формуле (6.16), даёт величину, равную 1,3 км³, что меньше полученной по формуле (6.11), вероятно, из-за недоучёта ветровой денивелизации уровня воды ($\pm J$). Определив параметры области адвекции (1), можно рассчитать объёмы областей 2 и 3 (рис. 6.18), так как чем больше сток реки, тем больше объём рассмотренных частей зоны взаимодействия. Процессы взаимодействия разнородных вод тесно взаимосвязаны с другими устьевыми процессами, например, с обменом между отдельными частями устьев рек и с процессом проникновения галоклина.

6.5 Проникновение галоклина в устья рек

При определённом соотношении речных и морских, ландшафтных и антропогенных факторов (рис. 6.1) верхняя граница зоны взаимодействия речных и морских вод (рис. 6.18) иногда перемещалась к нижним границам дельт или устьевых участков рек и даже в устьевые водотоки. Интрузия солёной воды активизировалась под воздействием природных факторов (меженный сток, сгонно-нагонные явления, разница в плотности воды) и в результате хозяйственной деятельности (углубление рукавов, прорезь бара, сооружение судоходных каналов, портов, водозабор речных вод, регулирование стока рек). Всё это было характерно для рассматриваемых устьев рек. Многофакторный процесс поступления солёной воды в пресноводные водотоки и водоёмы сопровождался явлениями полного или частичного их осолонения, а также проникновением галоклина, и имел общие черты как с процессами смешения, так и с адвекцией разнородных вод. Наиболее изучен процесс проникновения галоклина, при котором главную роль играла адвекция солёной воды [169; 239; 326]. Согласно классификации устьевых областей рек Скриптунова Н.А. и Лупачёва Ю.В. [326] по особенностям проникновения галоклина в водотоки, устье р. Дунай относилось ко второму типу (галоклин проникал в рукава эпизодически при значительной межени и сильном нагоне), а рек Днепр, Юж. Буг и Чёрная – к третьему (наблюдалось устойчивое проникновение солёной воды взморья при уменьшении стока рек ниже критического значения). При первом типе интрузии нет, что сейчас характерно для р. Бельбек в связи с естественной и искусственной трансформацией (рис. 6.8) устьевого участка реки [230].

Роль рельефа в развитии интрузии показана в работе Доронина Ю.П. [100] и подтверждается анализом осреднённых профилей водной поверхности и дна устьев рек Дунай, Днепр, Чёрная и Бельбек, представленных в работе автора [123, с. 190–191]. Наиболее существенное выполаживание продольного профиля в районе сопряжения уровня водотоков с уровнем взморья характерно для устья рек Днепр и Юж. Буг, что способствовало падению напора речных вод при впадении в лиман. Поэтому проникновение галоклина в устьевые водотоки этих равнинных рек было более частым, чем в устьях рек Дунай, Чёрная и Бельбек. К тому же, в устье рек Днепр и Юж. Буг интрузии галоклина способствовал глубоководный судоходный канал, функционирующий почти 200 лет. Судоходный канал в рук. Прорва р. Дунай, в период его эксплуатации, также способствовал проникновению осолонённой воды взморья в устьевые водотоки.

В устье р. Дунай солёная вода в основном проникала в рук. Сулинский, а ранее, до заиливания рук. Прорва, также и в этот рукав (рис. 2.6, с. 67). Авторами работы [52], по данным 1983–1993 гг., установлено, что обеспеченность проникновения галоклина на 4–5 км в рук. Прорва составляла около 50 %, а в 5 % случаев и менее галоклин распространялся на всю длину этого рукава и проникал в рук. Очаковский (рис. 1.2, с. 16). После заиливания рук. Прорва процесс интрузии

зии в нём практически прекратился [52]. При обобщении материалов ДГМО эти выводы подтверждаются, как и сведения о структуре и динамике галоклина. По мнению авторов работы [52], результаты исследования проникновения галоклина в рук. Прорва имеют большое значение для прогнозных оценок поступления солёной воды в рук. Быстрый (где проложен новый судовой ход) после его углубления, поэтому выполнен дополнительный критический анализ первичных материалов ДГМО за 1976–1993 гг. Процесс проникновения солёной воды взморья в водотоки р. Дунай обычно отмечался при стоке реки 95–99 % обеспеченности (менее $4000 \text{ м}^3/\text{с}$ в вершине устья) и нагонном ветре более 10 м/с [52; 261].

Зависимость дальности проникновения галоклина от стока р. Дунай, приведенная в работе [52, с. 371] и на рис. 6.22а, свидетельствует о том, что, хотя связь между стоком и солёностью воды устьевое взморья имела высокие корреляционные отношения (табл. 4.3, с. 129), дальность проникновения галоклина в рук. Прорва (L_s), полученная за период 1983–1993 гг. в работе [52], не имела тесной связи со стоком этого рукава (Q), так как существенное влияние на её тесноту оказывали сгонно-нагонные явления и дноуглубительные работы в рук. Прорва. При этом авторы не объясняют, почему при существенной изменчивости расхода воды (в пределах $250\text{--}800 \text{ м}^3/\text{с}$) длина галоклина одинаковая – около 2-х км (рис. 4.22а), а при расходе воды рукава около $300 \text{ м}^3/\text{с}$, его длина может быть любой – от 2-х до 17-ти км.

Рисунок 6.22 – Зависимости дальности проникновения галоклина (L_s , км) от расхода воды рук. Прорва (Q , $\text{м}^3/\text{с}$) по данным [52] за 1983–1993 гг. (а) и разным объёме дночерпания, млн. м^3 : (б) – 4; (в) – 3; (г) – 2 (за тот же период)

Критический анализ натурных данных ДГМО за этот же период показал, что роль антропогенной составляющей в процессе проникновения галоклина существенна. В 80-е годы осуществлялась переброска стока р. Дунай в лим.-лаг. Сасык и соединение акватории порта Усть-Дунайск с рук. Прорва коротким Соединительным каналом, в пользу которого стало поступать 10–30 % стока рук. Прорва, что активизировало проникновение солёной воды в водоток и его заносимость. Объёмы ремонтного черпания по поддержанию судового хода в рук. Прорва имеются, по данным ГП «Устьдунайводпуть», начиная с 1983 г., поэтому результаты натурных наблюдений ДГМО сгруппированы по годам, имевшим примерно одинаковый средний уровень дночерпания: 1983–1988 гг. (4 млн. м³/год); 1989–1990 гг. (3 млн. м³/год); 1991–1993 гг. (2 млн. м³/год). Кроме того, было выполнено уточнение расходов воды по материалам ГВК [83], и данные о галоклине при двух экстремальных нагонах, когда галоклин распространился в рук. Прорва на 16,8 км (20.09.1990) и 14 км (20.09.1983), анализировались отдельно и при построении связей не учитывались. При построении зависимостей за нуль отсчёта принимался свал глубин Прорвинского канала [52], расположенный на 2 км мористее надводной части нижней границы дельты в районе устья рук. Прорва. В результате, как видно из рис. 6.22, связи дальности проникновения солёной воды, $L_s = f(Q)$, от расхода рукава (6.22б-г) стали более тесными, чем зависимость, построенная в [52] без учёта разных объёмов дночерпания за рассматриваемый период (рис. 6.22а). Корреляционные отношения полученных для отдельных периодов зависимостей составляли 0,85–0,91, то есть существенно больше, чем оценка тесноты связи (равная 0,50 в работе [52]), представленной на рис. 6.22а. По материалам наблюдений (при различном уровне антропогенной нагрузки на рукав) оказалось, что в межень, при среднем многолетнем значении расхода воды рук. Прорва (480 м³/с) и почти в 2 раза бóльшем значении расхода, солёная вода обычно распространялась по дну рукава на 2–3 км, а при уменьшении среднего расхода в 2 раза длина клина солёной воды составляла 8–10 км.

Разброс точек вокруг линий регрессии (рис. 6.22) был обусловлен не только сгонно-нагонными явлениями, но и особенностями процесса проникновения солёной воды в это устье. Обычно галоклин поступал вверх по течению рук. Прорва с повторяемостью 60–70 %, иногда проникая почти до г. Вилково. Солёность воды рукавов Килийской дельты при этом увеличивалась в поверхностном слое до 1–5 ‰, а в придонном – до 10 ‰ и более, уменьшаясь по направлению от моря к реке. Результаты обобщения натурных данных по проникновению солёной воды в устьевые рукава р. Дунай, выполненному автором, соответствовали результатам математического моделирования проникновения галоклина в рук. Прорва, полученные Лаврентьевым Ю.А. [162] по методике, изложенной в работе Русина И.Н. [307]. Однако отмечались случаи, когда при сильных нагонах проникновение воды взморья происходило не только вдоль русел водотоков, но и при затоплении дельты, островов, плавней, пойм и поступлении морской воды в водотоки через при-

русловые валы. Особенностью проникновения солёной воды в устьевые водотоки р. Дунай являлся её подъём по малым рукавам (Белгородскому, Гнеушеву, Соединительному) к узлам разветвления и дальнейшее перемещение в море по более крупным и многоводным рукавам вместе с прямым потоком, что отмечено и в работах [52; 55]. В настоящее время, после заилиenia рук. Прорва, также бывают такие случаи поступления солёной воды в рукава.

По материалам наблюдений отмечались и другие особенности распространения галоклина в устьевые водотоки Килийской системы рукавов. Например, интересный случай проникновения солёной воды в рукава Килийской системы показан на рис. 6.23, из которого видно, что динамика процесса проникновения галоклина может быть разной. Продолжительный нагон вызвал поступление солёной воды по рукавам Прорва и Очаковский (рис. 6.23а), галоклин 20.09.1983 г. распро-

Рисунок 6.23 – Схема проникновения галоклина в рукава р. Дунай 20 (а) и 21 (б) сентября 1983 г. (в числителе солёность поверхностного, а в знаменателе – придонного слоя воды, ‰)

странился вверх по течению на 12 км (14 км от принятого в [52] начала отсчёта). Максимальная солёность воды была зафиксирована в узлах разветвления рукавов Прорва-Очаковский-Потаповский и Очаковский-Полуночный. При том же значении стока рук. Прорва и нагонном ветре на следующий день, 21.09.1983 г., картина изменилась (рис. 6.23б). В устье рук. Прорва располагалась пресная вода, а максимальная солёность была зафиксирована в устье рук. Потаповского, откуда и перемещался галоклин, в условиях подпора стоком рук. Очаковского, вытеснившего солёную воду в рук. Прорва.

Дополнительный анализ натурных данных за 19–21.09.1983 г. показал, что измеренные в условиях нагона (подпора) расходы воды рук. Прорва (122–153 м³/с) не соответствовали приведенным в изданиях ГВК [83], рассчитанным по процентным соотношениям от стока рук. Килийского. По этой причине значение $L_s = f(Q)$ за 20.09.1983 г. (рис. 6.22а) отклоняется от линии связи и при построении графиков (б–г) не учитывалось. Следова-

тельно, экстремальные значения характеристик процесса проникновения галоклина требуют до-

полнительного анализа данных и не всегда могут быть использованы для построения эмпирических зависимостей.

При обобщении материалов наблюдений за галоклином в устье рек Днепр и Юж. Буг детально рассмотрены особенности процесса проникновения солёной воды в устьевые водоёмы и водотоки, а также зависимости его характеристик от изменчивости речного стока. Это позволило в некоторой степени ликвидировать пробел в области устьевой океанологии, так как ранее, в основном, процесс интрузии исследовался разными авторами с помощью математического моделирования [162; 176] отдельных ситуаций, что не давало представления об его климатических характеристиках.

Оказалось, что в устье рек Днепр и Юж. Буг галоклин располагался в судоходном канале большую часть года, носил установившийся характер и смещался вдоль оси канала в зависимости от гидрометеорологических условий, в основном при изменении стока р. Днепр, так как в многолетнем разрезе сгоны и нагоны взаимно компенсировались (рис. 6.24).

Рисунок 6.24 – Особенности проникновения галоклина в устье рек Днепр и Юж. Буг при среднем (а), повышенном (б, в), пониженном (г) стоке рек и средних многолетних метеорологических условиях

Особенности поступления морской воды в это устье таковы, что в разной стадии нагона (сгона) и при различном сочетании гидрометеорологических условий в Днепро-Бугском лимане развивалась как однослойная, так и двухслойная, и даже трёхслойная циркуляция вод (рис.

3.6б, 6.10), что было обусловлено наличием глубоководной прорези судоходного канала вдоль его осей. При этом галоклин поступал в водотоки не только при нагонах, но и при сгонах, способствовавших развитию в придонном слое воды компенсационного потока, под действием которого, усиливаясь плотностными течениями, галоклин проникал в устьевые водотоки на значительные расстояния, особенно в период межени. Поэтому в рассматриваемом устье рек нередко при повышенном стоке р. Днепр или сгоне галоклин распространялся вдоль канала в устье р. Юж. Буг. Эта особенность, не характерная для устья р. Дунай [52; 216, с. 444] и других рек [169], обусловлена тем, что пропускная способность Кинбурнского пролива ограничена, при большом стоке р. Днепр и сильном сгоне перепад уровня воды был обратным – увеличивался уровень в устье лимана и уменьшался в его вершине, при этом развивался «компенсационный нагон», и в придонном слое солёная вода проникала на устьевой участок р. Юж. Буг, а иногда и в устьевые рукава р. Днепр.

Механизм проникновения галоклина в этом устье можно схематизировать, выделив несколько основных причин этого процесса: 1) уменьшение стока р. Днепр; 2) «компенсационный нагон» после сильного сгона или попуска; 3) сильный нагон; 4) сочетание указанных факторов. Подробно роль этих факторов и их сочетаний рассмотрена в работе [216, с. 442–450]. Установлено, что наиболее активное проникновение солёной воды было при одновременном резком уменьшении стока р. Днепр и сгоне, что приводило к активизации у дна обратного потока.

В устье рек Днепр и Юж. Буг проникала вода (солёностью 12–15 ‰) из открытой части устьевого взморья (морского района, рис. 2.6, с. 67), в какой-то степени смешанная с водой Днепро-Бугского и даже Березанского лиманов, или почти неизменённая вода из СЗЧМ (имевшая солёность в придонном слое у Кинбурнского пролива 17–18 ‰), компенсировавшая постоянный отток распреснённой воды из Днепро-Бугского лимана. Судоходный канал ограничивал растекание и смешение солёной воды, способствовал её продвижению и разветвлению обратного потока на два клина, которые перемещались к дельте р. Днепр и к р. Юж. Буг (рис. 6.24а). При повышении стока р. Днепр проникновение солёной воды обычно наблюдалось только вдоль судоходного канала, соединяющего порты городов Очаков и Николаев, и не распространялось к нижней границе дельты р. Днепр (рис. 6.24б), за исключением отдельных случаев, когда развивался компенсационный нагон и галоклин приобретал вид, как на рис. 6.24а. Большой сток рек Днепр и Юж. Буг иногда приводил к ситуации, когда галоклин в Бугском лимане автономизировался, тогда как из Днепро-Бугского лимана он вытеснялся в его западную часть или за пределы Кинбурнского пролива (рис. 6.24в). В этом случае сток р. Днепр обычно был существенным и «подпирал» водную массу Бугского лимана, способствуя распространению в нём галоклина по направлению к нижней границе устьевого участка рек Юж. Буг и Ингул или его «застаиванию» в глубоководной части Бугского лимана. Распространению галоклина на устьевые участки рек

Днепр, Юж. Буг и Ингул способствовал малый сток рек (рис. 6.24г). В этом случае, при нагоне, даже поверхностная осолонённая вода (более 1 ‰) из восточного района Днепровского лимана иногда проникала не только в судоходные рукава Рвач и Забич, но и в другие рукава р. Днепр и связанные с ними водоёмы. Осолонение в отдельных случаях фиксировали в рукавах Ольховый Днепр и Кошевая (рис. 1.3, с. 16), в районе г. Херсона, а также на устьевом участке р. Днепр.

Процесс проникновения галоклина на устьевые участки рек Юж. Буг, Ингул и в рукава р. Днепр имел как общие черты, так и различия (рис. 6.24, 6.25). Они были обусловлены разным воздействием на устьевое взморье стока рек Днепр и Юж. Буг. На рис. 6.25 показано проникновение солёной воды в разные периоды года при низком стоке р. Днепр, одинаковых ветровых условиях и одинаковой солёности воды у Кинбурнского пролива ($S_{\text{Кинбурн}}$) и НГД р. Днепр.

Рисунок 6.25 – Проникновение галоклина весной 1987 г. и летом 1992 г. (в числителе солёность поверхностного, а в знаменателе – придонного слоя воды, ‰)

В рассматриваемых ситуациях отличался расход воды рек: весной 1987 г. (рис. 6.25а) расход р. Днепр был меньше, чем летом 1992 г. (рис. 6.25б), а весенний расход воды р. Юж. Буг, наоборот, был больше летнего. Кроме того, весной градиент температуры между речной и морской водой был меньше (3–4 °С), чем летом, когда он достигал 12–14 °С. Следовательно, плотностной градиент в 1992 г. был больше, чем в период съёмки в 1987 г. (рис. 6.25а, б). Но, при меньшем расходе воды р. Днепр (1987 г.), галоклин продвинулся в устьевые рукава р. Днепр на 26 км от нижней границы дельты и на устьевой участок р. Юж. Буг – на 12 км от его нижней границы (рис. 6.25а). При увеличении расхода воды р. Днепр всего на 102 м³/с (рис. 6.25б) галоклин в рук. Ольховый Днепр располагался ниже на 7–8 км (18 км от нижней границы дельты), а на устьевом участке р. Юж. Буг продвинулся выше на 16 км (28 км от нижней границы устьевого участка р. Юж. Буг). Значит, большее влияния днепровского стока на устьевое взморье затрудняло поступление солёной воды к нижней границе р. Днепр, в то время как в Бугском лимане сопротивление обратному потоку было меньше и в канале преобладали течения, направленные к нижней границе устьевом участка рек Юж. Буг и Ингул (рис. 3.6, с. 86). Поэтому повторяемость

подхода галоклина к нижней границе дельты р. Днепр составляла 63 %, а к нижней границе устьевое участка р. Юж. Буг – 94 %. При этом солёность воды в поверхностном слое у НГД р. Днепр достигала 1 ‰ только в 13 % случаев, а у нижней границы устьевое участка рек Юж. Буг и Ингул – в 86 % от всех случаев. Повторяемость проникновения солёной воды в рук. Рвач была равна 30 %, Бакай – 3 % и Конка – 1 % (рис. 1.3). Сравнительно большой сток рукавов Бакай и Конка, а также мелководность на их устьевых барах и отсутствие каналов препятствовали проникновению галоклина в эти водотоки. На устьевые участки рек Юж. Буг и Ингул галоклин по каналу проникал в 80 % случаев.

Для оценки роли стока р. Днепр ($Q_{\text{Днепр}}$) в изменении дальности проникновения галоклина в рук. Рвач и на устьевой участок р. Юж. Буг ($L_{\text{Рвач, Юж.Буг}}$), получены зависимости $L_{\text{Рвач, Юж.Буг}} = f(Q_{\text{Днепр}})$. Они имели неоднозначный характер и представлены на рис. 6.26.

Рисунок 6.26 – Зависимости дальности проникновения галоклина в рук. Рвач р. Днепр и на устьевой участок р. Юж. Буг ($L_{\text{Рвач, Юж.Буг}}$, км) от расхода воды р. Днепр ($Q_{\text{Днепр}}$, м³/с)

Очевидно, что кроме стока р. Днепр (и, в значительно меньшей степени, р. Юж. Буг), существенное влияние на дальность проникновения галоклина оказывали сгонно-нагонные, сейшевые и приливо-отливные явления, обуславливавшие перепад уровня воды, а, следовательно, активизацию прямого или обратного потока (рис. 6.15, с. 243). При средних гидрометеорологических условиях зависимости $L_{\text{Рвач, Юж.Буг}} = f(Q_{\text{Днепр}})$ довольно тесные, как и при сгонах (ниже средней линии связи), а при нагонах (выше средней линии связи) – разброс точек больше, зависимости менее очевидны. Таким образом, дальность проникновения галоклина в устьевые водотоки, $L_{\text{Рвач, Юж.Буг}}$, являлась функцией двух переменных – $Q_{\text{Днепр}}$ и $\pm J$, где J – интенсивность изменения уровня воды в лимане, например, при сгонно-нагонных явлениях. Из-за недостатка данных уравнения связей (рис. 6.26) не находились (как и для зависимостей, показанных на рис. 6.22), хотя в дальнейшем, при накоплении информации, можно получить зависимости и расчётные формулы, аналогичные представленным на рис. 6.21.

Оказалось, что при среднем расходе воды р. Днепр ($1340 \text{ м}^3/\text{с}$) галоклин, ограниченный солёностью 1 ‰, распространялся к устью рук. Рвач или проникал в него в среднем на 2 км от нижней границы дельты. При расходе воды около $1600 \text{ м}^3/\text{с}$ галоклин не проникал в устьевые рукава р. Днепр. Морфология Бугского лимана – наличие судоходного канала, глубоких котловин (10–16 м), незначительная ширина и значительная глубоководность (по сравнению с Днепровским лиманом) – во многом определяли особенности проникновения галоклина как в лиман, так и на устьевые участки рек Юж. Буг и Ингул. Проникновение солёной воды в бугский район устья и на устьевой участок рек Юж. Буг и Ингул (рис. 2.6) в основном определялось водоносностью р. Днепр, роль стока р. Юж. Буг проявлялась только в короткий период половодья. Для того чтобы галоклин не распространялся в р. Юж. Буг, расход воды обеих рек должен был превышать $2000 \text{ м}^3/\text{с}$ (при средних ветровых условиях). Поэтому при их суммарном среднем многолетнем расходе, равном $1440 \text{ м}^3/\text{с}$, клин солёной воды постоянно присутствовал в придонном слое вдоль судоходного канала, продвигаясь в р. Юж. Буг на 10–11 км от нижней границы устьевого участка реки.

Из рис. 6.26 следует, что максимальное проникновение галоклина в рук. Рвач (по данным наблюдений) ограничено 35 км, в р. Юж. Буг – 30 км. Это соответствует физико-географическим особенностям рассматриваемого устья: уклонам устьевых участков рек, глубинам, схеме преобладающих течений, характеру водообмена между лиманами и прилегающей открытой частью устьевого взморья.

По материалам специальных наблюдений анализировались параметры галоклина, такие как средняя толщина, средняя и максимальная продолжительность его стояния, дальность проникновения, средняя и наибольшая солёность воды в галоклине, градиенты солёности и др. Результаты обобщений приведены в работе. Средняя толщина галоклина в водотоках рек составляла 6–8 м, дальность распространения – 12–13 км, средняя продолжительность стояния – 2–3 ч, максимальная – 6–24 ч, максимальная солёность поверхностного слоя галоклина – 8–9 ‰, придонного – 14–15 ‰. Клин солёной воды у нижней границы УУР Юж. Буг и Ингул в 63 % случаев имел солёность более 3 ‰, а в 16 % случаев – более 10 ‰. Такие ситуации иногда наблюдались ежемесячно (например, с июля по ноябрь 1991 г.).

Межгодовая и сезонная изменчивость характеристик проникновения галоклина обусловлена соответствующими изменениями стока рек, особенно изменчивостью меженного стока и тепловыми условиями года. Проникновение солёной воды активизировалось при наступлении цикла маловодных лет, повышенном испарении на устьевом взморье, значительном прогреве речных или охлаждении морских вод. При больших сбросах из каскада днепровских водохранилищ (например, в период половодья или паводков) галоклин вытеснялся в западный район лимана, при малых – перемещался к границам устьевых участков рек (рис. 6.24). Суточное и не-

дельное регулирование сбросов водохранилищами также отражалось на динамике галоклина. Резкое уменьшение попусков ГЭС (когда за 1–2 суток расход воды уменьшался в 3–5 раз) приводило к быстрому продвижению галоклина вверх по течению на 5–10 км от устья рук. Рвач.

Особая устьевая циркуляция (рис. 3.6, с. 86) способствовала устойчивой стратификации плотности, температуры, солёности воды и других характеристик режима, формированию системы противотока и сохранению «пульсирования» галоклина вдоль осей лимана. Причины краткосрочных «пульсаций» галоклина были те же, что и краткосрочных изменений уровня, течений и солёности воды (Глава 3, рис. 3.4, с. 83; Глава 4, рис. 4.4, с. 123). По материалам специальных наблюдений в рук. Прорва р. Дунай и рук. Рвач р. Днепр установлено, что, при квазипостоянном стоке рек в течение суток и отсутствии сгонно-нагонных явлений (которые отмечались эпизодически 1–3 раза в месяц), ночью и утром галоклин перемещался в море. При этом изогалины в его фронтальной части располагались почти вертикально, а тыловая часть заглублялась. Во второй половине дня, вечером, галоклин максимально проникал в устье, изогалины выполаживались и приобретали ступенчато-волнообразный характер, а фронтальная часть, в «вершине клина», заострялась. В устье рек Днепр и Юж. Буг указанные перемещения галоклина соответствовали суточной изменчивости водообмена через Кинбурнский пролив (рис. 6.14а, с. 240). Аналогичная суточная динамика галоклина в рук. Прорва показана в работе [52, с. 373] при постоянном стоке реки. Следовательно, суточная изменчивость конфигурации, мощности и длины галоклина, при постоянных гидрометеорологических условиях, обусловлена волновыми колебаниями уровня и течений, генерируемыми приливами-отливами и бризами.

Анализ распределения изогалин на продольных разрезах (рис. 6.27), выполненных двумя

Рисунок 6.27 – Проникновение галоклина в устье р. Днепр 28.07.1981 г.
при переменном ветре 1–3 м/с и стоке реки, равном 259 м³/с
(НГД – нижняя граница дельты; УУР – устьевой участок реки, нижняя граница)

судами за несколько часов, и изменчивости солёности воды и течений (иногда резко изменявшихся) на многосерийных станциях в рукавах р. Днепр и на устьевом участке р. Юж. Буг показал, что и в малопривливном устье рек Днепр и Юж. Буг причинами таких резких «пульсаций» галоклина могут быть внутренние волны и генерируемый иногда тягун в судоходном канале [62]. Это согласуется с выводами Лупачёва Ю.В., Зырянова В.Н., Чебановой М.К., Филатова Н.Н. [111–113; 169] о возникновении внутренних волн при вторжении галоклина в устье реки и их влиянии на колебания дальности его проникновения. Показанный на рис. 6.27 случай проникновения галоклина в это устье является типичным для условий межени при небольшом ветре переменного направления (1–3 м/с) и резком уменьшении сбросов воды из Каховского водохранилища (до 259 м³/с). 28.07.1981 г. дальность проникновения солёной воды в водотоки р. Днепр составила 25 км. Максимальная толщина клина солёной воды у нижней границы дельты (НГД) достигала 12 м, солёность в устье рук. Рвач, где галоклин отмечался в течение суток, увеличивалась до 11,3 ‰, вертикальный градиент солёности в слое скачка составлял 5–10 ‰, скорость перемещения разнонаправленных потоков не превышала 20–25 см/с. Северо-восточнее станции 8 (рис. 6.27) галоклин, преодолевая восьмиметровый порог, поступал из Днепровского лимана в Бугский и застаивался в его глубоководной части. Дальность проникновения солёной воды на устьевой участок р. Юж. Буг (при расходе воды этой реки 81,6 м³/с) была равна 15 км, максимальная толщина галоклина – 8 м, а максимальная солёность – 10 ‰.

Для определения степени воздействия галоклина на отдельные участки водотоков рассчитана повторяемость и обеспеченность дальности его распространения под влиянием комплекса факторов (рис. 6.28). Участки, где отмечалось проникновение галоклина, были примерно одинаковой длины: между с. Касперовка и г. Херсон – 27 км и между г. Николаевом и с. Гурьевка – около 28 км (рис. 6.25). В пределах каждого участка по степени влияния интрузии солёной воды выделялось по 3 характерных района: сильного влияния (выше 75 %-ой обеспеченности),

Рисунок 6.28 – Частота и обеспеченность (p , %) дальности проникновения галоклина ($L_{\text{Рвач}}$, Юж.Буг, км) в рук. Рвач р. Днепр (а) и на устьевой участок р. Юж. Буг (б)

среднего (75–25 %-ой обеспеченности) и слабого (ниже 25 %-ой обеспеченности).

Используя указанные критерии, районирование водотоков по степени влияния на их режим галоклина, выполнено следующим образом. В рукавах Рвач, Забич и Ольховый Днепр (рис. 1.3) сильное влияние галоклина отмечалось на расстоянии менее 10 км от НГД, среднее – выше по течению, в пределах 10–20 км и слабое – выше 20 км от нижней границы дельты (вверх по течению рук. Ольховый Днепр).

В тех же интервалах (менее 10 км, 10–20 км и более 20 км от нижней границы УУР Юж. Буг) характеризовалась степень влияния галоклина при его проникновении на устьевой участок р. Юж. Буг. Близкие результаты получились и при анализе квартилей [66].

Галоклин в рукавах р. Днепр чаще всего располагался не выше 7 км от НГД, в среднем проникая на 7–20 км, и в 25 % случаев наблюдался выше 20 км от нижней границы дельты. На устьевой участок р. Юж. Буг галоклин проникал приблизительно так же: в среднем он обнаруживался на 8–18 км от нижней границы УУР, зона его наиболее частого обнаружения ограничивалась 8 км, а в 25 % случаев проникновение солёной воды распространялось дальше 18 км от нижней границы устьевого участка р. Юж. Буг.

Полученные результаты имеют практическое и прогнозное значение, они могут использоваться для приближённой оценки динамики галоклина при изменении режима сбросов из Каховского водохранилища.

Из-за недостатка данных детально изучить процессы проникновения солёной воды на устьевые участки рек Бельбек и Чёрная пока затруднительно.

В период межени сток р. Бельбек поступал в море, фильтруясь через волноприбойный вал, или по узкому прорану в нём. После расчистки устьевого участка реки на нём отмечались обратные течения, обусловленные подпором, но измерений солёности не производилось. Геоморфологическая неустойчивость УУР (рис. 6.8) привела к тому, что на протяжении 1–3 лет (2017–2020 гг.) в меандрирующее русло устьевого участка р. Бельбек солёная вода при нагонах не поступала, так как оно на бóльшем своём протяжении было расположено параллельно береговой черте и отгорожено от моря 1–2-х метровым волноприбойным валом. Через него при штормовом волнении происходил заплеск морской воды [230]. После значительных паводков, образовывался глубокий проран на месте старого русла, по которому при нагонах поступала морская вода.

В Севастопольской бухте галоклин не наблюдался из-за хорошего перемешивания водной массы и незначительности стока р. Чёрной. Однако в Инкерманский лиман и на устьевой участок реки по судоходному каналу «Река Чёрная» в меженный период проникала солёная вода (рис. 6.29), причём, в первой половине дня галоклин обычно перемещался в сторону реки, а во второй – по направлению к морю (его перемещения были в пределах 0,5–0,6 км).

Рисунок 6.29 – Схема проникновения галоклина на устьевой участок р. Чёрной в межень (а) и связь (б) между дальностью его проникновения ($L_{Черн}$) и расходом воды р. Чёрной у с. Хмельницкое ($Q_{Черн}$)

Немногочисленные материалы экспедиционных исследований (24 съёмки МГИ РАН и 3 специальных экспедиции, организованных автором), выполненных на устьевом участке р. Чёрной, дают лишь ориентировочное представление о проникновении галоклина в устье этой реки. Оказалось, что солёная вода из Севастопольской бухты регулярно поступала в Инкерманский лиман и на устьевой участок р. Чёрной (рис. 1.4, с. 17). Расход воды р. Чёрной в период натурных исследований не измерялся (исключая 3 экспедиции), его значения были предоставлены Крымским УГМС только для 13 съёмок, по материалам которых и построена связь между дальностью проникновения галоклина ($L_{Черн}$) и расходом воды р. Чёрной у с. Хмельницкое ($Q_{Черн}$), показанная на рис. 6.29б.

Расход воды изменялся в пределах 1,12–1,94 m^3/s и в среднем составлял 1,60 m^3/s , что на 23 % ниже нормы (Глава 3, табл. 3.1, с. 75). Среднее время добегания от водпоста в с. Хмельницкое, где определялся расход воды р. Чёрной, 2 суток. Преобладал ветер переменных направлений. При этих условиях средняя дальность распространения солёной воды от принятого нуля отсчёта (рис. 6.29а) была равна 1,75 км, а максимальная – 2,1 км. В период исследований галоклин распространялся на устьевой участок р. Чёрной на 0,09–0,53 км (в среднем на 0,18 км), причём солёность воды увеличивалась иногда до 3 ‰. Оказалось, что осолонение устьевое участка реки не может распространяться далее вершины устья, за которую принята плотина, высотой около 1 м, расположенная на расстоянии 0,6 км от нижней границы устьевое участка р. Чёрной (Глава 1, рис. 1.4, с. 17; рис. 6.29).

6.6 Тепловые и ледовые процессы

Исследование тепловых и ледовых процессов в больших устьях рек выполнялось автором ранее. Полученные результаты представлены в монографии [190]. Поэтому в данной главе приводятся только дополнительные сведения и новые результаты, полученные на основе обобщения и анализа более продолжительных рядов наблюдений [83].

Основными факторами тепловых и ледовых процессов являлся теплообмен с атмосферой, сток тепла рек и теплообмен с морем [190]. Анализ изменчивости этих факторов свидетельствовал о гелиофизической обусловленности их изменчивости, что подтверждает рис. 6.30. Из него видно, что изменения сумм отрицательных температур воздуха за зимний сезон (ΣT_{-}) и чисел Вольфа (Wolf) происходили в противофазе [393]. Анализ корреляции между аномалиями температуры воздуха и числами Вольфа, приведенный в работе Гордеева В.В. [69, с. 41] по данным Сорохтина О.Г., также свидетельствует о доминировании гелиофизической составляющей в формировании погодных условий, а, следовательно, тепловых и ледовых процессов.

После выделения скрытых периодичностей методом Шустера А. [37] и фильтрации высоких частот установлено, что изменения ΣT_{-} имели цикличность 10–12, 22–25 и 78–80 лет. Значимые тенденции ΣT_{-} не обнаружены (рис. 6.31), хотя средняя годовая температура воздуха в г. Измаиле имела положительный тренд (Глава 2, с. 72). Все характеристики зимних тепловых и ледовых процессов в период 1961–2012 гг., включающий 6 полных циклов, стабилизировались и тенденций не имели. Возможно, отсутствие значимых тенденций обусловлено тем, что потепление атмосферы над сушей балансировалось похолоданием воздуха над морем, как показано в работах Бышева В.И., Неймана В.Г., Романова Ю.А. (2006, 2016) и др.

Рисунок 6.30 – Фрагмент изменений средних сумм отрицательных среднесуточных температур воздуха (ΣT_{-}) в устье рек Днепр и Юж. Буг и чисел Вольфа (Wolf)

Рисунок 6.31 – Изменчивость сумм отрицательных среднесуточных температур воздуха (ΣT_{-}) в устьях больших рек

Сток тепла и теплообмен с морем оказывали влияние на тепловые и ледовые процессы и зависели от стока воды (Глава 3, с. 104–108). Хозяйственная деятельность в бассейнах рек, в

первую очередь, отражалась на речном стоке: осуществлялся его водозабор и регулирование водохранилищами, переброска и перераспределение между устьевыми рукавами. В результате изменялся и сток тепла рек. Кроме того, сток воды оказывал существенное влияние на сезонную изменчивость обменных процессов в проливах (6.8)–(6.10), обуславливая теплообмен с прилегающим открытым взморьем. Например, из рис. 6.32 видно, как изменяется площадь покрытия льдом акватории (ледовитость) взморья р. Дунай при вариации стока в феврале в пределах $5\text{--}460 \cdot 10^{15}$ Дж при одинаковых метеорологических условиях (температурных и ветровых) предзимья и зимы (декабрь–февраль) и примерно одинаковой сумме градусо-дней мороза ($\Sigma T = 256\text{--}272^\circ\text{C}$). Очевидно, что суровость ледовых условий, определяемая исключительно по широко используемому критерию ΣT (Глава 3, табл. 3.10, с. 108), в зоне влияния стока тепла рек может оказаться не достоверной, так как при стоке тепла р. Дунай, равном $5 \cdot 10^{15}$ Дж (рис. 6.32а), ледовитость взморья соответствует суровой зиме, а при стоке тепла, равном $460 \cdot 10^{15}$ Дж – мягкой зиме (рис. 6.32в).

Рисунок 6.32 – Ледовитость взморья р. Дунай при одинаковых метеоусловиях в декабре–феврале и разном стоке тепла рек в феврале: а) – 1950 г., сток тепла $5 \cdot 10^{15}$ Дж; б) – 1976 г., сток тепла $10 \cdot 10^{15}$ Дж; в) – 1956 г., сток тепла $160 \cdot 10^{15}$ Дж; г) – 1967 г., сток тепла $460 \cdot 10^{15}$ Дж
1 – сплошной неподвижный лёд; 2 – плавучий лёд

От стока тепла рек зависела не только ледовитость (рис. 6.32), но и толщина льда, число дней со льдом и др. характеристики ледового режима (рис. 6.33). Поскольку сток тепла влиял на условия теплообмена как на границах морских устьев рек, так и между средами, он являлся хорошим предиктором для прогнозных оценок возможных изменений теплового и ледового режи-

мов в разнотипных устьях рек [190, 216]. Изменения сроков наступления и окончания ледовых явлений также можно оценить приближённо по изменению стока тепла рек, потому что аномалии наступления характерных дат тоже зависели от стока тепла. Теснота зависимостей (рис. 6.33), полученных по материалам наблюдений за период 1961–2012 гг., применимых для любых температурных условий ледового сезона, характеризовалась различными коэффициентами корреляции и корреляционными отношениями. Наиболее тесная связь отмечалась для устья рек Днепр и

Рисунок 6.33 – Зависимости: аномалий дат появления (ΔD) и исчезновения (ΔC) неподвижного льда в восточной части Днепровско-Бугского лимана от стока тепла ($\Theta \cdot 10^{15}$, Дж) р. Днепр у Каховской ГЭС в декабре (а) и марте (б); числа дней со льдом (N) в морских устьях рек Азово-Чёрноморского бассейна (в) от стока тепла рек за ледовый сезон (1 – р. Дунай; 2 – р. Днепр; 3 – р. Дон; 4 – р. Кубань) на единицу площади устьевого взморья ($\Theta \cdot 10^6$, Дж/м²); ледовитости Днепровского лимана (S) в марте (г) и наибольшей толщины льда (h) за ледовый сезон в с. Касперовка (д) от стока тепла (Θ) в марте (г) и за зиму (д)

Юж. Буг (коэффициенты корреляции составляли 0,82–0,98). Влияние стока тепла на ледовые процессы в этом устье было сопоставимо с воздействием атмосферных факторов, так как в зимы любой суровости зависимости были одни и те же. Сток тепла крымских рек практически не влиял на ледовые условия (отмечавшиеся крайне редко) на устьевых взморьях. Из-за неустойчивости ледовых явлений на устьевом взморье р. Дунай получить аналогичные зависимости (кроме зави-

симости, представленной на рис. 6.33в) не удалось. Показанные на рис. 6.33 связи не только раскрывают физическую обусловленность основных характеристик ледовых процессов от одного из основных факторов (стока тепла рек), но и имеют прогнозное значение [190; 216, с. 329]. Пример прогностических зависимостей начала ледообразования в лимане (средняя заблаговременность 13 сут, средняя погрешность 2 сут) приводится в работе автора [123, с. 477–480].

Количественная оценка характеристик теплообмена с контактирующими средами была получена на основании современных натурных данных, уравнения теплового баланса и по методикам, изложенным в [190], адаптированным к устьям рек Дунай, Днепр и Юж. Буг [216, с. 226–231] и апробированным в более ранних работах автора. Результаты приведены в табл. 3.9 (**Глава 3**, с. 107).

Так как реки Днепр, Юж. Буг, Бельбек и Чёрная в основном (исключая зимний период, когда температура замерзания солёной воды была отрицательной) охлаждали воду устьевых взморьев (**Глава 3**, рис. 3.11, с. 101), теплозапас взморьев тратился на нагревание поступавших речных вод. Река Дунай охлаждала большую часть своего взморья и отепляла Жебриянскую бухту. Тепловые процессы (даже в пределах одного устья) зависели от условий перемешивания, сезона года, характера и степени влияния стока тепла реки, теплообмена с морем и атмосферой, морфометрических характеристик (типа устьевого взморья, глубины в месте измерения температуры воды), а также влияния антропогенных факторов [190; 216, с. 475–478].

Водная масса устьевых взморьев больших рек по преобладающим тепловым процессам условно разделена на 3 части: квазиоднородный верхний слой (в среднем до 5,5 м), подверженный перемешиванию, сезонным, синоптическим и суточным колебаниям температуры воды; слой скачка температуры, толщиной 1–3 м, расположенный обычно на глубинах 3–7 м; глубоководный, довольно инертный и однородный по температуре слой. Средняя многолетняя температура воды этого слоя близка к средней многолетней температуре воды верхнего квазиоднородного слоя прилегающей к устью части моря. На тепловые характеристики всех указанных слоёв влиял сток тепла рек, изменяя временные масштабы тепловых процессов, способствуя трансформации температурной структуры, обуславливая теплообмен взморьев с реками и морем, что показано в работах автора [190; 216, с. 190–225, 296–336]. Тепловое (охлаждающее или отепляющее) влияние речного стока проявлялось в распределении изотерм на устьевых взморьях, особенно во время половодья и паводков, что подробно рассмотрено в работе автора [190].

Установлено, что основное влияние в устьях больших рек (Дунай, Днепр, Дон и Кубань) сток тепла оказывал в области адвекции речных вод (область 1 на рис. 6.18). В области смешения, в результате турбулентного теплообмена и диффузии, тепловое влияние рек и моря разграничить затруднительно. В области адвекции морских вод (область 5 на рис. 6.18) максимально проявлялось влияние морского теплопритока. Районирование морских устьев рек разного типа по степе-

ни теплового влияния реки и моря выполнено с помощью совместного анализа температуры воды, тепловых процессов [190], распределения солёности воды (S), льда и коэффициента вариации солёности C_v [224]. Оказалось, что солёность воды может быть использована в качестве критерия для приближённого определения зон теплового влияния речного стока и морского теплопритока. Среднее многолетнее расположение этих зон показано на рис. 6.34.

Рисунок 6.34 – Районирование устьев рек Дунай (а, б), Днепр и Юж. Буг (в, г) по степени теплового влияния стока рек и морского притока в поверхностном (а, в) и придонном (б, г) слоях воды. Области: 1 – преимущественного влияния стока тепла рек ($S = 0,3–1,5 \text{ ‰}$, $C_v = 0,05–1,5$); 2 – интегрального теплового влияния реки и моря ($S = 2–15 \text{ ‰}$, $C_v = 0,3–0,8$); 3 – преимущественного теплового влияния моря ($S = > 15 \text{ ‰}$, $C_v \leq 0,2$).

В устьях рек Дунай, Днепр и Юж. Буг выделено по три характерных области теплового влияния (рис. 6.34): 1 – преимущественного влияния стока тепла или адвекции тепла рек, имевшая две подобласти (от вершин устьев до $S < 0,5 \text{ ‰}$, $C_v = 0,05–0,1$ и от $S = 0,5 \text{ ‰}$ до $S = 1,5 \text{ ‰}$,

$C_v = 0,5-1,5$); 2 – интегрального теплового влияния реки и моря ($S = 2-15 \text{ ‰}$, $C_v = 0,3-0,8$); 3 – преимущественного теплового влияния моря или адвекции тепла моря ($S > 15 \text{ ‰}$, $C_v \leq 0,2$). Очевидно, что наибольшему влиянию стока тепла были подвержены устьевые участки рек и устьевые рукава, отнесённые к первой подобласти первой области (от вершин устьев до $S < 0,5 \text{ ‰}$). Здесь влияние стока тепла распространялось от поверхности до дна. Во второй подобласти первой области ($S = 0,5-1,5 \text{ ‰}$) в поверхностном слое преобладала адвекция стока тепла, а в придонном слое (особенно в глубоководных судоходных каналах) проявлялось тепловое влияние воды, поступавшей из второй области.

Геоморфологические особенности устьевых взморьев (открытое, приглубое взморье р. Дунай и закрытый, отмелый Днепровско-Бугский лиман) обуславливали различия в соотношении объёмов и площадей областей, отличавшихся степенью теплового влияния рек и моря, отражались на их конфигурации и количестве. В поверхностном слое взморьев их по три, в придонном – на устьевом взморье р. Дунай практически отсутствовала область теплового влияния реки, так как оно на приглубое устьевое взморье у дна обычно не распространялось. Области влияния стока тепла больших рек (рис. 6.34) включали их устьевые участки и рукава и распространялись в Днепровско-Бугский лиман на 25–27 км, а на взморье р. Дунай – на 2–5 км (в зависимости от стока рукавов), несмотря на то, что объём области теплового влияния р. Дунай на взморье был почти в 5 раз больше, чем рек Днепр и Юж. Буг на лиман. Внутригодовое перераспределение стока воды (Глава 3, с. 78–79) и тепла, «выравнивание» их годового хода в последние 25 лет, не изменило среднего многолетнего расположения рассматриваемых областей и зоны теплового влияния в целом (рис. 6.34), однако сезонная изменчивость этих характеристик тепловых процессов на устьевых взморьях больших рек уменьшилась.

Для сравнения степени влияния стока тепла рассматриваемых рек на устьевые взморья разного типа использовался удельный сток тепла, показывающий сколько тепловой энергии реки приходилось на 1 км^2 устьевое взморье. Чем большее количество тепла поступало с речным стоком на единицу площади взморья, тем больше адвекция тепла (или холода) влияла на соответствующую акваторию. Удельное воздействие стока тепла больших рек (Дунай и Днепр) на поверхностный слой устьевых взморьев (без учёта контактного взаимодействия между речной водой и водой приёмного водоёма) приблизительно составляло $1,2 \cdot 10^{15} \text{ Дж/км}^2$, а малых рек (Бельбек и Чёрная) – около $0,3 \cdot 10^{15} \text{ Дж/км}^2$. Соответственно, и влияние стока тепла на тепловые и ледовые процессы в устьях больших рек было значительно больше, чем в устьях малых рек. Однако, согласно методике, предложенной Лупачёвым Ю.В. в работе [170], для корректной оценки теплового влияния стока рек на устьевые взморья необходимо учитывать утилизацию в приёмном водоёме стока тепла рек в результате происходящего контактного теплообмена между разнородными водными массами. Так как средняя годовая температура речных вод в местах их впадения в

водоём была меньше соответствующей температуры на морских границах устьевых взморьев (**Глава 3**, рис. 3.11, с. 101), поступающая более холодная речная вода при её диффузии получала дополнительное количество тепла при контакте с более тёплой водой взморьев. Оказалось, что в среднем потери тепла водной массой взморьев при взаимодействии с речными водами составляли в год $0,1 \cdot 10^{15}$ Дж/км². То есть, теплозапас речной воды (сток тепла) в результате контакта с водой взморья увеличивался в среднем за год на: $885 \cdot 10^{15}$ Дж (р. Дунай), $191 \cdot 10^{15}$ Дж (реки Днепр и Юж. Буг), $0,38 \cdot 10^{15}$ Дж (р. Бельбек) и $0,42 \cdot 10^{15}$ Дж (р. Чёрная). Следовательно, недоучёт утилизации стока тепла рек (**Глава 3**, с. 105–108) на устьевых взморьях, при оценке их баланса тепла, приведёт к погрешности в 7 % (взморье р. Дунай), 9 % (взморье рек Днепр и Юж. Буг) и 17 % (взморья рек Бельбек и Чёрная).

Сложный компонентный состав устьев рек обуславливал особенности тепловых процессов в водотоках (интенсивный внутриводный теплообмен) и в водоёмах устьев (замедленный теплообмен ниже глубины ветрового перемешивания). В устьевых водотоках преобладал транзит тепла, в водоёмах влияние указанных факторов было наиболее показательно в зоне адвекции речных вод. Объём устьевых взморьев и сток рек лимитировали влияние адвективных составляющих на тепловые и ледовые процессы. Так, на приглубых устьевых взморьях открытого (реки Дунай и Бельбек) и закрытого типа (р. Чёрная) преобладал теплообмен с атмосферой, а в Днепровско-Бугском лимане (закрытом отмелом взморье) – адвективные составляющие были больше теплообмена с атмосферой. Анализ среднего месячного стока тепла рек и теплообмена с атмосферой показал, что во всех устьях теплообмен с атмосферой мало зависел от адвекции тепла с речными водами, в то же время, теплообмен с морем коррелировался со стоком тепла рек, так как водообмен связан с речным стоком (рис. 6.14).

При анализе зависимостей между температурой воды и воздуха $T_w = f(T_a)$ были выявлены изменения тепловых процессов, приведшие к изменению температуры воды Днепровско-Бугского лимана [216, с. 196–203], а также определены однородные периоды и установлено, что существенную роль в тепловых процессах играла адвекция речных и морских вод. Оказалось, что при отсутствии тенденций в изменении температуры воздуха (**Глава 2**, с. 72), температура воды на водпостах в Днепровско-Бугском лимане увеличивалась (**Глава 3**, с. 102–103) в среднем на 0,02 °С/год. Причём, ранее, в период 1961–1986 гг., значимой тенденции не отмечалось [190]. В связи с этим выполнена оценка изменения температуры воды в лимане в зависимости от изменения стока воды и тепла р. Днепр по методикам, подробно изложенным в работах автора [190; 216, с. 478]. С 1986 г. по 2012 г. происходило уменьшение водности р. Днепр в весенне-летний период на 20 % и увеличение стока осени на 20–25 % (**Глава 3**, с. 77, 78), что, в соответствии с расчётами, способствовало перераспределению стока тепла внутри года, уменьшению его охлаждающего влияния на Днепровско-Бугский лиман в большую часть года и увеличению температуры воды в

лимане на 0,4–0,5 °С (по сравнению с предыдущим периодом). Этот результат согласуется с данными, полученными в **Главе 3** (с. 102) при рассмотрении тенденций изменчивости температуры воды в этом устье рек, и ставит под сомнение результаты, опубликованные в работе [266], где на основе некорректного анализа тенденций стока рек Дунай (за 1867–2001 гг.) и Днепр (за 1947–2001 гг.), а также осадков (от которых этот сток зависит) делается необоснованный вывод о понижении температуры воды северо-западной части Чёрного моря зимой из-за увеличения стока воды рек и осадков в этот период года. Анализ данных многолетнего мониторинга по однородным рядам наблюдений за 1961–2012 гг. показал, что увеличение стока воды и тепла больших рек в зимний период усилило тепляющий эффект стока рек на устьевые взморья зимой и привело не к уменьшению, как считали авторы работы [266], а к увеличению температуры воды приёжных водоёмов и «смягчению» ледовых условий на устьевых взморьях в зоне теплового влияния стока рек (рис. 6.32–6.34). Полученные выводы хорошо согласуются с результатами работы [61], где отмечаются аналогичные тенденции – увеличение температуры воды в период охлаждения [61, с. 160–170] и увеличение количества умеренных и мягких зим по сравнению с предыдущим климатическим периодом [61, с. 277].

6.7 Загрязнение водной среды

Процессы загрязнения морских устьев рек в основном связаны с хозяйственной деятельностью и её последствиями как в самих устьях, так и в бассейнах устьеобразующих рек. Источники загрязнения представлены широким спектром промышленных предприятий добывающей, металлургической, нефтехимической и др. видов промышленности, а также энергетикой, городским и сельским хозяйствами, судоходством и рекреацией. ГЭБЦ и ЗВ попадали в реки со сточными водами, из атмосферных выпадений, при смыве с берегов, сбросах, выбросах и авариях, а затем, с речным стоком, выносились в их устья. При этом сбросы сточных вод в реки влияют на морские акватории опосредованно, так как речная вода, с одной стороны, способствует разбавлению стоков, а с другой, по мере продвижения к морю, процессы её загрязнения могут усиливаться другими источниками поступления загрязняющих веществ (смыв с берега, эрозия почв, неучтённые сбросы, эоловый перенос и др.). Поэтому в настоящее время затруднительно дифференцировать вклад сточных вод в концентрацию и вынос биогенных (БВ) и загрязняющих (ЗВ) веществ речным стоком в море. Выпуски сточных вод производились и непосредственно в морские устья рек, основные из них представлены на рис. 6.35.

Загрязнение среды происходило не только точечными, но и диффузными (рассредоточенными) источниками, вклад которых учесть затруднительно из-за недостатка данных и методов оценок. Кроме указанных источников, ЗВ поступали в воду устьев рек при дампинге и аварийных

утечках химических веществ. В процессе загрязнения водных объектов играли роль не только антропогенные, но и природные факторы: эрозия почв, эвтрофикация, заморы, заболачивание пойм, пересыхание водных объектов, затопление дельт, ветровой перенос и выпадения из атмосферы, образование токсичных веществ в донных отложениях или воде, например, при разложении органических веществ [19; 332]. Особенности физико-химических процессов, характерных для морских устьев рек, способствовали аккумуляции ЗВ в воде и донных отложениях устьевых

Рисунок 6.35 – Основные источники загрязнения сточными водами морских устьев рек северо-западной части Чёрного моря

взморьев [69; 166]. Растворённые вещества проходили устьевые водотоки транзитом и были хорошо перемешаны, загрязнённые взвешенные вещества, пятна и плёнки выносились на устьевые взморья речным стоком. Здесь, при уменьшении скоростей течения часть их депонировалась в донные отложения, а часть аккумулировалась в пятнах, плёнках и гидробионтах. В процессе флоккуляции растворённые и коллоидные вещества переходили во взвешенное состояние [69], особенно в областях 3–4 (рис. 6.18). Процессы десорбции при смешении речных и морских вод могут значительно увеличивать концентрации некоторых растворённых металлов [69]. В условиях существенной вертикальной неоднородности концентрации кислорода редокс-реакции, описанные в работе Гордеева В.В. [69], способствовали увеличению концентрации некоторых растворённых веществ в придонном слое воды. Для области 2 (рис. 6.18) типична адсорбция, хе-

могенная садка и др. процессы [69]. По данным, приведенным в работе Лисицына А.П. [166], на устьевых взморьях рек аккумулируются: органический углерод, соединения железа, марганца, органические и др. вещества. Загрязнённые НУ и другими загрязняющими веществами донные отложения при штормах являлись источником «вторичного загрязнения» водной среды устьев. Кроме того, именно на устьевых взморьях рек отмечалось наибольшее число случаев разливов НУ и плёнок [223; 309]. Поскольку пробы воды отбирались в стратифицированной водной массе устьевых взморьев в поверхностном и придонном горизонтах, концентрация ЗВ в этих районах устьев всех типов была максимальной (**Глава 4**, раздел 4.5).

Исследованиями НЦ ВСУ «Государственный океанариум» и ИнБЮМ [20; 28] установлено, что сосредоточенные источники загрязнения сказывались на близком расстоянии: в пределах 1–2 км их влияние полностью нивелировалось. Небольшие ливневые водовыпуски на расстоянии 50–70 м практически уже не влияли на водную среду, а крупные источники сточных вод влияли в пределах 2 км (например, водовыпуск в районе устьевого взморья р. Бельбек). Но для закрытых устьевых взморьев (лиман, бухта) зона влияния при сбросах и разливах ЗВ была более существенной. Например, в Севастопольской бухте пятна и плёнки обычно имели радиус 300–500 м и толщину 2–5 мм. При сбросах судами льяльных вод загрязнялась большая часть Южной бухты (а также Жебриянской бухты, на взморье р. Дунай), а сточные воды Севастопольской ГРЭС имели средний радиус распространения около 1 км. При неблагоприятных гидрометеорологических условиях и аварийных сбросах суммарное влияние сточных вод и речного выноса на акваторию Севастополя, по приближённым оценкам, распространялось на площадь до 300 км², что может нанести существенный ущерб экономике и экологии региона.

Сточные воды г. Николаева попадали непосредственно в Бугский лиман, потому что сбрасывались как в его верховья, так и в районе с. Галициново (рис. 6.35). Это приводило к аккумуляции ЗВ в центральной части Бугского лимана [340] из-за его недостаточной проточности, подпора и даже поступления воды из Днепровского лимана и преобладающих обратных течений в придонном слое вдоль судоходного канала (рис. 3.6, с. 86).

Качество воды международной р. Дунай в основном формировалось за пределами украинской части устья, так как на территории Украины расположено только около 7 % дунайского бассейна. Из-за большой скорости течения р. Дунай ЗВ транзитом поступали в устье, где происходила их деструкция и накопление. Ранее, в период интенсивного хозяйствования в районе г. Рени–г. Усть-Дунайск, при осуществлении судоходства в рук. Прорва, загрязнённость водотоков на всём протяжении украинской части морского устья была примерно одинаковой, в устьях рукавов лишь немного меньше, чем в вершине устья. Природоохранные мероприятия, снижение уровня хозяйственной деятельности в Килийском рукаве р. Дунай, её активизация в сопредельных румынских рукавах и основном русле привели к тому, что содержание НУ в воде р. Дунай в

настоящее время в два раза больше, чем в устьях украинских рукавов (Глава 4, с. 159). Основной объём ЗВ поступал именно с вышерасположенных участков, особенно, при участившихся авариях в сопредельных государствах, судоходстве в румынских рукавах р. Дунай, дампинге грунта, осуществляемом Румынией в Килийском рукаве. Например, 31.01.2000 г. авария на горнопромышленном предприятии «Аурул» (г. Бая-Маре, Румыния) на притоке р. Лемош (р. Самош) привела к загрязнению цианидами дунайской воды; 10.03.2000 г. из-за аварии на предприятии «Ремин» (г. Бая-Бурса, Румыния) в приток р. Васер (р. Тиса) попали тяжёлые металлы; 26.03.2000 г. прорыв дамбы вызвал загрязнение вод р. Тисы свинцом, медью, железом и марганцем. В результате этих аварий в апреле 2000 г. было запрещено водопользование и рыболовство. Совокупный ущерб рыбному и водному хозяйству Украины оценен в 31,6 млн. грн. [142]. Аварийные сбросы тяжёлых металлов в р. Тису осуществлялись Румынией 26.07.2008 г. и 16.04.2009 г., в дельте р. Дунай, по вине Румынии, с 2000 г. произошло около 30 техногенных аварий, эта страна неоднократно нарушала международные конвенции [147; 148; 356]. Молдавия сбрасывала неочищенные сточные воды в 1985, 1988, 1995 и 1996 гг., в результате чего было прекращено водоснабжение г. Болграда из лим.-оз. Ялпук.

Непосредственно в устье р. Дунай основную роль в процессах загрязнения играли сбросы канализаций городов Рени, Измаил, Килия, Вилково и с рисовых чеков. Наибольшее локальное загрязнение воды было характерно для расположенного выше г. Рени района нефтеприёмного терминала Молдовы в с. Джурджулешты. Сокращение сельскохозяйственного производства в украинской части дельты р. Дунай не сказалось на концентрации ГЭБЦ и ХОП, что свидетельствует о преобладании их транзита из сопредельных придунайских государств и поступлении из разрушенных временных хранилищ для неиспользуемых пестицидов. В пределах МУР осуществляли свою деятельность: Измаильский целлюлозно-картонный комбинат, судоремонтно-механический и рыбообрабатывающий заводы, а также заводы тароупаковочных и железобетонных изделий, Измаильский морской торговый порт, Килийский судоремонтный завод, Вилковский рыбообрабатывающий завод. В основном эти предприятия загрязняли атмосферный воздух, осуществляя выбросы оксидов серы и азота, пыли, сероводорода, сажи, спиртов, сульфата натрия, хлора и пр. Выбросы в атмосферу предприятиями Рени, Измаила, Килии и Вилково составляли около 2,6 тыс. т/год. В пределах свалок-котлованов они складировали твёрдые промышленные отходы, экологически опасные для устьевого региона и моря.

Ежегодно в украинскую часть устья р. Дунай сбрасывалось около 0,12 км³ сточных вод (0,05 % от стока р. Дунай и 0,6 % от общего количества сточных вод, попадавших в р. Дунай со всего водосборного бассейна) из Суворовской, Лисковской, Придунайской, Килийской, Кислицкой и других оросительных и рисовых систем, которые в настоящее время приходят в упадок. Сбросы с сельскохозяйственных угодий содержали биогенные и взвешенные вещества, ядохими-

каты, так как почти 80 % из них поступало в реку без очистки. Лишь 5–6 % их объёма проходило полную очистку на коллекторе Измаильского целлюлозно-картонного завода, частично очищалось около 10–15 % сточных вод. При этом ХОП содержались в концентрациях, в среднем не превышавших 1 нг/л, а повторяемость их обнаружения в воде (вблизи водовыпусков сточных вод) р. Дунай, в рук. Килийском у г. Вилково была равна 4 % (ДДЭ)–16 % (α -ГХЦГ), и только γ -ГХЦГ обнаруживали в пробах воды с повторяемостью 29 %. Городские стоки городов Измаила и Килии имели довольно высокую степень очистки на очистных сооружениях промышленных предприятий. Поэтому в устье р. Дунай превалировали сельскохозяйственные стоки, а также отмечалось загрязнение с транспортных средств, количество которых в последние годы увеличивалось.

Таким образом, в структуре загрязнения окружающей природной среды в этом устье преобладали: транзит ЗВ с речным стоком; промышленное загрязнение атмосферного воздуха не крупными промышленными предприятиями, которое превышало загрязнение от транспорта и жилищно-коммунальных предприятий; сбросы коммунально-бытовых стоков в устьевые водотоки; сбросы с сельскохозяйственных орошаемых массивов. Анализ особенностей загрязнения подтверждает мнение о том, что претензии к Украине, связанные с её попытками возобновить судоходство в рукавах Быстром и Килийском, мотивируемые возможным негативным влиянием на международный Дунайский биосферный заповедник, не были обоснованы, так как большая часть ЗВ поступала с участков р. Дунай, расположенных выше вершины устья (г. Рени).

Транзит ЗВ также являлся основным источником загрязнения устья рек Днепр и Юж. Буг. В международную р. Днепр сбрасывались загрязнённые сточные воды с нефтеперерабатывающих и нефтехимических, металлургических и горнодобывающих предприятий, ЗВ поступали с сельскохозяйственных угодий, городов Белоруссии, России и Украины, загрязняли воду гидроэнергетика, судоходство, военные отрасли и др. Существенную роль играли смывы, сбросы горводоканалов, аварийные разливы, обрушение берегов. Проблемы загрязнения в устье рек Днепр и Юж. Буг усугублялись эвтрофированием водохранилищ каскада и Днепро-Бугского лимана, микробиологическим загрязнением, поступлением твёрдых отходов, взвешенных веществ с суши и из атмосферы, при аварийных сбросах и выбросах, а также после аварии на Чернобыльской АЭС. Способствовал этому низкий технический и технологический уровень производства, существенный износ производственных ресурсов, децентрализация экономики, нарушение субъектами хозяйственной деятельности природоохранного законодательства. Сильно загрязнялась воздушная среда региона (выбросы в бассейне р. Днепр достигали 10 млн. т в год), особенно, крупными предприятиями Запорожья, Днепропетровска, Днепродзержинска, Кривого Рога, Донбасса, выхлопами автотранспорта. Кроме того, многочисленные свалки, судоходство, дноуглубительные работы и дам্পинг, смывы и сбросы с оросительных систем, сельхозугодий и

ферм, неконтролируемые сбросы неочищенных сточных вод – являлись существенными источниками загрязнения воды рассматриваемых рек и их устьев.

Основными источниками загрязнения устья рек Днепр и Юж. Буг являлись: канализации населённых пунктов, особенно городов Николаев (крупный водовыпуск в Бугский лиман в районе с. Галициново, рис. 6.35), Херсон и Очаков, порты, расположенные в этих городах, Николаевский глинозёмный завод, автозаправочные станции, автотранспорт, терминалы г. Николаева, завод «Дамен Шипярдс Океан», «Экотранс», Черноморский судостроительный завод, Николаевский судостроительный завод (в настоящее время не функционирует), «Заря – Машпроект», предприятия «Янтарь», Сандора», «Лактарис», «Миконди» и др. [83; 104; 216, с. 351–353], сбрасывавшие наибольшее количество загрязнённых сточных вод.

По данным государственной статистической отчётности об использовании воды (Минводхоза Украины) в среднем сбросы сточных вод в Днепро-Бугском устьевом регионе составляли около $0,25 \text{ км}^3/\text{год}$ (0,5 % от стока рек и около 3 % от общего количества сточных вод, поступавших в бассейны рек Днепр, Ингулец и Ингул). Только в р. Ингулец ежегодно в среднем попадало $0,1 \text{ км}^3$ сточных вод. Структура сбрасываемых в бассейне р. Днепр стоков в основном следующая: около 64 % составляли нормативно чистые воды, 9 % – нормативно очищенные, 27 % – загрязнённые. Очистные сооружения промышленных предприятий и городские водоканалы не обеспечивали нормативную очистку сточных вод. Горводоканал г. Херсона являлся крупным источником загрязнения р. Днепр, поставщиком легкоокисляемых органических веществ, НУ, СПАВ, ГЭБЦ, тяжёлых металлов, пестицидов, взвешенных веществ, фенолов и др. Появились несанкционированные сбросы стоков в устьевые рукава р. Днепр, в р. Ингулец. Сброс хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод г. Николаева производился в Бугский лиман. В него с насосных станций города в среднем за период 1977–1993 гг. сбрасывалось $0,15 \text{ км}^3/\text{год}$, из них около 2 % неочищенных вод. В последние 15 лет объём сбросов уменьшился до $0,06\text{--}0,09 \text{ км}^3/\text{год}$, а доля неочищенных вод увеличилась до 3–13 %. Загрязняли среду судоходство и рыболовство, осуществляемые в лимане и водных объектах дельты р. Днепр. Высокий уровень загрязнения отмечался в местах дампинга [180; 181].

Сравнение содержания ЗВ в грунтах устьевых водотоков р. Дунай (где их концентрация обычно была меньше или равна концентрации в воде), рек Днепр и Юж. Буг (где концентрация ЗВ в донных отложениях на порядок и более превышала их содержание в воде) показало, что, в отличие от р. Дунай, меньшие скорости течения, свойственные устьевым водотокам рек Днепр и Юж. Буг, способствовали накоплению ЗВ в донных отложениях. Поэтому преобразование ЗВ в этом устье начиналось уже на устьевом участке р. Юж. Буг и в рукавах р. Днепр.

Негативное влияние загрязнения Днепро-Бугского лимана реками, стоками крупных городов, судоходством и дампингом уже сказалось на качестве его воды. Так, по оценкам, выпол-

ненным автором (**Глава 4**, табл. 4.11, с. 180), среднее годовое содержание НУ (1,1 тыс. т) в его водной среде составляло около 14 % ассимиляционной ёмкости лимана (8 тыс. т/год), рассчитанной Совга Е.Е. и Мезенцевой И.В. [333], вынос НУ реками в лиман превышал её значение на 72 %, а их результирующий вынос из лимана в открытую часть устьевого взморья был больше ассимиляционной ёмкости лимана на 88 %. Последствием такого загрязнения лимана НУ явилось стабильное шестикратное превышение средней многолетней концентрацией значений ПДК (**Глава 4**, рис. 4.20, с. 160).

Нестабильность хозяйственной деятельности в Бельбекско-Чернореченском устьевом регионе (**Глава 7**, раздел 7.3), спад производства, убыль населения в 1998–2013 гг., а затем, с 2014 г., его прирост, привели к изменению объёмов сбросов сточных вод. По данным Севприроднадзора, в последние 5 лет доля сброса загрязнённых сточных вод в общем объёме стоков крупных водопользователей возросла на 8 %, а сбросы загрязнённых сточных вод без очистки уменьшились на 67 %, недостаточно очищенных вод сбрасывалось на 17 % меньше, чем в предшествующий период (1998–2013 гг.). По данным статистического сборника «Україна у цифрах» и Управления Федеральной государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю за 1998–2019 гг. с 2013–2014 гг. социально-экономические показатели изменялись: отмечался рост валового регионального продукта (после его падения в 2014 г.) и индекса промышленного производства, увеличивался приток населения и его автомобилизация (рис. 6.36), возрастало загрязнение территорий и прибрежных акваторий из нецентрализованных источников.

Рисунок 6.36 – Динамика численности населения, тыс. чел. (а) и обеспеченности автомобилями, шт./тыс. чел. (б)

В устье р. Чёрной сбросы сточных вод в реку составляли в среднем около 0,002 км³ в год (3 % от стока р. Чёрной). По официальным данным учёта ГУПС «Водоканал» в низовья р. Чёрной сбрасывалось в среднем 0,03 т НУ, 0,05 т СПАВ и 71 т ГЭБЦ. Средний годовой речной вынос этих ингредиентов в бухту оценен в 0,6, 0,5 и 242 т соответственно (табл. 4.6, 4.9), т.е. учитываемые централизованные сбросы в реку составляли от него 5–30 %. Основной объём поступления на устьевое взморье НУ (2–7 т в год) приходился на смыв с берега, судоходство, неочищенные сточные воды, включая ливневые, атмосферные выпадения и неучтённые источники.

В процесс загрязнения устьевое взморье основной вклад вносили судоходство и сбросы сточных вод г. Севастополя (рис. 6.35). Здесь осуществлялись сбросы стоков ЗАО «Крымвтормет», с участка подсобного производства ЧФ России в г. Инкерман и др. Загрязнению Севастопольской бухты НУ при судоходстве способствовало базирование кораблей, а также сточные воды предприятий судоремонтной промышленности и поступление НУ с грузопассажирских причалов. Анализ выпусков сточных вод в Севастопольскую бухту, выполненный на основе данных Государственного управления охраны окружающей природной среды [253], показал, что в среднем за год в бухту сбрасывалось около $0,0011 \text{ км}^3$ (почти 2 % от стока р. Чёрной и 1,3 % от объёма Севастопольской бухты) сточных вод без очистки и только 14,8 % из них проходило механическую очистку. Кроме того, стоки поступали в бухту из 16 водовыпусков ливневой канализации и из 5 аварийных водовыпусков (рис. 6.35). Наибольшие объёмы сбросов осуществлялись с жилых массивов Северной стороны г. Севастополя, Севастопольской ТЭЦ, военными и флотскими учреждениями, предприятиями и организациями. Вместе с судами, кораблями и аварийными стоками в Севастопольскую бухту ежегодно попадало в среднем $0,002 \text{ км}^3$ стоков (около 2 % объёма бухты и 3 % притока речных вод), а включая поступление из реки – около $0,004 \text{ км}^3$ в год (4 % от объёма бухты). Последствием процесса загрязнения явился стабильно высокий уровень загрязнённости воды Севастопольской бухты НУ (рис. 4.20), средняя многолетняя концентрация НУ достигала здесь 8–15 ПДК [79; 251]. Сбросы сточных вод в р. Чёрную в районе с. Штурмовое в среднем увеличиваются на 1,8 тыс. $\text{м}^3/\text{год}$, при этом количество сбрасываемых нитратов увеличивается на 2,7 т/год.

Реку Бельбек загрязняли стоки населённых пунктов Верхнесадовое, Фруктовое, Помологическая станция, Любимовка и др. В неё сбрасывалось, по разным оценкам, $0,0002\text{--}0,00004 \text{ км}^3$ сточных вод в год. Из них без очистки 12,3 %, недостаточно очищенных 62,3 %, нормативно-очищенных 12,7 %, нормативно-чистых без очистки 12,7 %. Если с 1990 г. по 2006 г. общий объём стоков уменьшился почти в 3 раза, то объём недостаточно очищенных и неочищенных сточных вод, наоборот, увеличивался с каждым годом [164]. Централизованные водовыпуски сточных вод в р. Бельбек (по данным учёта «ГУПС «Водоканал») сбрасывали 0,01 т/год НУ, 0,01 т/год СПАВ и около 3 т/год ГЭБЦ, что составляло около 1 % от объёмов среднего годового стока этих ингредиентов р. Бельбек – 0,8 т НУ, 0,7 т СПАВ и 422 т ГЭБЦ (табл. 4.6, 4.9).

Очевидно, основной вклад в загрязнение устьев малых рек Крыма вносил смыв с территории их водосборов и неучтённые источники загрязнения. В районе устьевое взморье р. Бельбек расположен крупный (второй по величине в регионе) водовыпуск сточных вод (рис. 6.35), с полным циклом очистки, включая биологическую. Из него в прибрежную зону поступало в среднем 0,17 т НУ, 0,34 т СПАВ и 260 т ГЭБЦ. Однако, по данным Ациховской Ж.М. [20] этот водовыпуск загрязнял водную среду в радиусе около 1,5–2,0 км, в среднем ежегодно сбрасывая около 0,004

км³ сточных вод. Его влияние на качество воды устьевого взморья р. Бельбек пока неизвестно. По данным Севастопольского ГУПС «Водоканал» за последние 20 лет эффективность очистки сточных вод на КОС № 2 в районе пгт. Любимовка (вблизи устья р. Бельбек) достигла максимальных проектных значений, увеличившись на 5–10 % для различных ЗВ, что снизило негативное влияние этого источника загрязнения на водную среду. И хотя сброс сточных вод этим коллектором в среднем уменьшается на 137 тыс. м³/год, концентрация соединений азота в сточных водах в среднем за год увеличивается на 0,08 г/м³, а нефтепродуктов – на 0,001 г/м³. В связи с ростом населения (рис. 6.36), активизацией сельскохозяйственной деятельности, увеличением износа оборудования системы водоотведения, объём сбросов сточных вод в р. Бельбек растёт на 2,2 тыс. м³/год, на 0,004 и на 1,7 т/год увеличивается сброс нитритов и нитратов, соответственно.

В структуре хозяйственно-бытовых стоков, осуществляемых в устья рек Чёрная и Бельбек, преобладали нитраты. Увеличение их содержания было обусловлено ростом нагрузки на очистные сооружения из-за притока населения (рис. 6.36а). Содержание нефтепродуктов в сточных водах возрастало, так как увеличивалось количество автотранспорта (рис. 6.36б), а также это могло быть связано с нарушением природоохранного законодательства предприятиями по обслуживанию автотранспорта и другими предприятиями, на которых отсутствуют очистные сооружения и не осуществляется замкнутый цикл водоснабжения.

Структура загрязнения воздушной среды в Крыму отличалась от таковой в Дунайском регионе, где превалировали стационарные выбросы предприятий. Общий объём выбросов в атмосферу в Севастопольском регионе от года к году изменялся, в последнее время в среднем он составлял 3,7 т на км² территории. Из стационарных источников (это предприятия по производству электроэнергии, газа, воды и тепла), которые составляли 11 % от всех учтённых источников загрязнения воздушной среды, и из остальных, 89 %, передвижных источников загрязнения (преимущественно частный автотранспорт) в воздух поступали: сажа, пыль, соединения серы, азота и углерода, метан, тяжёлые металлы и пр., что способствовало загрязнению не только атмосферы и водосборных площадей, но и воды.

Согласно оценкам Кресина В.С. и Баранник В.А. [158] экологическая уязвимость устьевых регионов различалась. Очевидно, что наибольший биоресурсный потенциал имели устья рек Дунай, Днепр и Юж. Буг (особенно дельта р. Днепр, Днепроовско-Бугский лиман), наименьший – устья малых рек Крыма (Севастопольская бухта). В то же время, наиболее экологически уязвимыми являлись Днепроовско-Бугский лиман (в частности, его Бугская часть), Севастопольская и Жебриянская бухты, менее всего взморье – р. Бельбек.

Процессы загрязнения водной среды разнотипных МУР СЗЧМ имели общие черты: все устьеобразующие реки являлись основными источниками поступления ГЭБЦ и ХОП на их взморья, а последние – в море, так как на всех устьевых участках рек содержание ГЭБЦ и ХОП, кото-

рые попадали в реки с их водосборов, было больше, чем в воде устьевых взморьев (рис. 4.11–4.13, 4.24); все устьевые взморья были загрязнены НУ, СПАВ и фенолами больше, чем реки (особенно несудоходные) и прилегающие части моря (рис. 4.20–4.22), и поэтому являлись источниками загрязнения и моря (при преобладании выноса из устьевых взморьев в море), и рек (при нагонах и проникновении загрязнённых вод взморьев в устьевые водоёмы и водотоки). Аналогичные закономерности отмечались и для других устьев. Например, Завьялов П.О. и Маккавеев П.Н. в работе [108] указывают, что в «плюмах» малых рек восточной части Чёрного моря содержание органических и биогенных веществ было в 6–40 раз больше, чем в фоновых районах. Основными факторами большей загрязнённости устьевых взморьев НУ, фенолами и СПАВ, по сравнению с реками и морем, были: стратифицированность воды, что затрудняло вертикальный обмен и способствовало сохранению поверхностных плёнок; образование фронтов, препятствующих горизонтальному переносу веществ; уменьшение скорости течения, что снижало самоочищающую способность взморьев; активное судоходство; рыболовство; сбросы сточных вод; вторичное загрязнение; особенности отбора проб воды на химический анализ в поверхностном и придонном слоях воды и физико-химические процессы [69; 166]. Схема преобладающего поступления ГЭБЦ, ХОП и ЗВ в морские устья рек и СЗЧМ показана на рис. 6.37.

Рисунок 6.37 – Схема загрязнения воды ГЭБЦ и ЗВ в системе река–устье–море

В отличие от ГЭБЦ, которые потреблялись гидробионтами во всех рассматриваемых МУР, что способствовало очищению воды устьевых взморьев от этих ингредиентов, биологическая активность бактерий нефте- и фенолеструкторов была, очевидно, недостаточной для самоочищения водной среды от ЗВ до значений ПДК. При этом, по данным Миронова О.Г. [19, с. 71], нефтеокисляющие микроорганизмы в наибольших количествах (10–20 экз/мл) содержались в

воде и донных отложениях устьевого взморья р. Дунай, менее всего их было в Севастопольской бухте (1–5 экз/л), что подтверждается и схемами распределения концентрации НУ в акваториях этих морских устьев рек (рис. 4.20, с. 160). Речной сток оказывал загрязняющий эффект на устья, транспортируя ГЭБЦ и ХОП с бассейнов рек (**Глава 4**, с. 140–142, 167–168), и очищающий, разбавляя речной водой более загрязнённые НУ, СПАВ и фенолами воды устьевых взморьев (**Глава 4**, с. 160–166). Антропогенная нагрузка, непосредственные сбросы сточных вод влияли более всего на Бугский лиман и Севастопольскую бухту (рис. 6.35), на побережьях которых расположены крупные города – Николаев и Севастополь. Менее загрязнялись устья рек Дунай и Бельбек. Децентрализованные сбросы, загрязнение из ливневой канализации и при смыве с поверхности суши в равной мере были присущи всем морским устьям рек. Дополнительно ЗВ поступали в крупные реки при осуществлении судоходства и реконструкции судоходных каналов (этот источник был опасен и для Севастопольской бухты). Ветровой перенос и выпадения из атмосферы оказывали влияние на большие акватории (море) и водосборные площади рек.

В последнее время в устьях рек отмечалась общая тенденция сокращения водоотбора промышленными и сельскохозяйственными предприятиями. Экономии воды в процессе бытового водопотребления способствовало установление водомеров и повышение тарифов на водопотребление. Объёмы сбросов сточных вод повсеместно уменьшались, однако, неочищенных и недостаточно очищенных стоков сбрасывалось больше – их доля в общем объёме сточных вод увеличилась в 2–3 раза. Причиной увеличения сброса неочищенных стоков являлось несанкционированное подключение производственной и хозяйственно-бытовой канализации к ливневой, которая напрямую поступала в водные объекты рассматриваемых МУР. Водозаборы и сбросы воды в устьевых регионах были нестабильны во времени, что обусловлено тенденциями в экономике, нестабильностью производства. Характерен был его спад, соответственно, потребление водных ресурсов сокращалось и уменьшались сбросы использованных вод. Однако в последние 5 лет в Севастопольском регионе (по данным Севприроднадзора), объём сточных вод стал увеличиваться, а сбросы неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод стали уменьшаться.

Сложность анализа процессов загрязнения и гидрохимического режима морских устьев рек связана с тем, что определение ингредиентов (например, фенолов) и интегральных индексов загрязнённости вод (например, *ИЗВ*) в пресных, распреснённых и солёных водах производилось по разным методикам, поэтому результаты не всегда были сопоставимы. К тому же, в конкретных районах морских устьев рек преобладали разные ингредиенты, из-за чего в пресных водах производили одни определения, а в солёных – другие, так как химические вещества, поступавшие на устьевое взморье с речной водой, подвергались физическим, химическим и биологическим преобразованиям [69; 166]. Загрязнение разных устьев имело специфические особенности.

Учитывая вышесказанное и результаты, полученные в **Глава 4**, выделены следующие особенности процесса загрязнения водной среды морских устьев рек СЗЧМ:

1. ЗВ, поступавшие со стоком рек Днепр, Юж. Буг, Ингул, Ингулец из Бугского лимана и других источников, накапливались в восточной и центральной частях Днепровского лимана, а в западной его части загрязнённая лиманная вода разбавлялась более чистой водой морской части устьевоего взморья.

2. Сбросы ЗВ с берегов Севастопольской бухты способствовали их аккумуляции в прибрежной акватории центральной и южной частей бухты, так как река Чёрная и море оказывали очищающий эффект на западе, востоке и вдоль оси бухты.

3. ЗВ в украинской части устьевоего взморья р. Дунай аккумулировались в Жебриянской бухте, куда они поступали в результате вдольберегового переноса из северной части СЗЧМ, а также со сточными водами городов и стоком р. Дунай.

Сравнительный анализ уровня загрязнённости воды ГЭБЦ в области адвекции речного стока показал, что наиболее всего загрязнению соединениями фосфора были подвержены устья рек Юж. Буг и Ингул, а соединениями азота – устья рек Дунай и Бельбек (согласно [63; 64] их вода относилась к категории «загрязнённая»). Степень влияния речного стока азота, фосфора, кремния, НУ, фенолов, СПАВ и ХОП на приёмный водоём оценена по его удельной нагрузке на 1 м^3 устьевоего взморья, т.е. как отношение объёма выноса соответствующего вещества к объёму приёмной акватории, на которую распространялось влияние стока ($C, \text{г/м}^3$). Результаты оценки

Рисунок 6.38 – Удельная нагрузка выноса растворённых веществ на устьевые взморья

влияния стока веществ на разнотипные устьевые взморья представлены на рис. 6.38. Из него видно, что основную антропогенную нагрузку на приёмные водоёмы обеспечивали ГЭБЦ и НУ. Согласно расчётам, в среднем за год, нагрузка только от сточковой составляющей выноса НУ на 1 м^3 устья рек Днепр и Юж. Буг составляла около 3 г/год. Полученная величина соответствовала удельной ассимиляционной ёмкости Днепровско-Бугского лимана и прилегающей СЗЧМ (по отношению

к НУ), которая, согласно расчётам Совга Е.Е. и Мезенцевой И.В. [333], имела значение 2–3 г/год. Следовательно, высокий уровень загрязнения рек НУ являлся основным (но не единственным) фактором стабильного превышения ПДК в воде лимана и открытой части устьевоего взморья.

Впервые (за период 1992–2012 гг.) рассчитана средняя многолетняя интегральная характеристика качества воды по гидрохимическому индексу загрязнения воды (*ИЗВ*), позволившая выполнить сравнительный анализ степени загрязнённости водной среды разнотипных устьев рек (рис. 6.39). Выбор (*ИЗВ*), применявшегося с 1986 г. для комплексной оценки качества воды, обусловлен недостатком данных и желанием сохранить преемственность с предшествующими работами [64; 79; 80; 82; 83]. *ИЗВ* рассчитывался в соответствии с работой [185] по формуле

$$ИЗВ = \frac{\sum \frac{C}{ПДК}}{4}, \quad (6.17)$$

где C – концентрации НУ, СПАВ, фенолов и растворённого кислорода; $ПДК$ – их предельно допустимые концентрации.

Из рис. 6.39 видно, что наиболее неоднородное загрязнение и самое низкое качество воды было характерно для Севастопольской бухты, где имелись слабопроточные участки очень грязной воды (VI). Только в зоне влияния р. Чёрной, в Инкерманском лимане, вода была умеренно загрязнённая. Грязная вода низкого качества локализовалась в районе выпуска сточных

Рисунок 6.39 – Классификация качества воды в период с 1992 г. по 2012 г. по *ИЗВ*
III – умеренно загрязнённая; IV – загрязнённая; V – грязная; VI – очень грязная

вод вблизи устьевого взморья р. Бельбек и в зоне влияния этой реки на устьевое взморье. Полученная многолетняя характеристика качества воды (рис. 6.39) согласуется с распределением ЗВ в бухте (рис. 4.20–4.22, 4.24) и с биогеохимическим районированием, выполненным в работах сотрудников МГИ и ИНБЮМ для воды и донных отложений [18; 19; 121].

Днепровско-Бугский лиман был целиком заполнен грязной водой, что характерно для средних многолетних *ИЗВ* этого закрытого устьевого взморья. Такая однородность обусловлена его мелководностью и сравнительной перемешанностью обширных мелководий. Негативно воздействовали на качество воды: судоходный канал, способствовавший возникновению дефицита кислорода, дамлинг грунта при его реконструкции, навигация. В этом была основная причина постоянного загрязнения водной среды НУ и фенолами (Глава 4, с. 160–165).

Акватория приглубого открытого устьевоего взморья Килийского рукава р. Дунай в основном была загрязнённой (IV), умеренно загрязнённые участки располагались на взморье между рук. Очаковским и рук. Быстрым, а также в мористой части взморья (III), более загрязнённая водная масса поступала из северо-западной части Чёрного моря и распространялась на юг под действием преобладающих течений (Глава 3, рис. 3.5, с. 85).

Количественная оценка самоочищающей способности воды (как и само определение этого термина) является проблематичной [2; 8; 69], потому что комплексный учёт всех гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических процессов, зачастую по-разному влияющих на качество воды, пока невозможен. К тому же, как показано в Глава 4, растворённые вещества трансформируются на устьевых взморьях по-разному – их концентрация может как уменьшаться (ГЭБЦ и ХОП), так и увеличиваться (НУ, СПАВ, фенолы). Некоторые особенности гидрофизического самоочищения прибрежных вод, рассмотренные в статье Айбулатова Н.А., Завьялова П.О. и Пелевина В.В. [2], дают представление о роли переноса ЗВ и их седиментации на устьевых взморьях рек восточной части Чёрного моря. Для устьев рек СЗЧМ аналогичных исследований не проводилось, поэтому оценить самоочищение воды затруднительно.

Для оценки средней многолетней трансформации растворённых веществ в слое перемешивания на устьевых взморьях разного типа под влиянием комплекса абиотических и биотических факторов использовался индекс трансформации веществ (*ИТВ*, %/км), показывающий на сколько процентов в среднем изменялась концентрация веществ на каждый километр продольного осевого разреза устьевоего взморья относительно концентрации в начальном створе (у НГД дельты или нижней границы УУР). Он рассчитывался по натурным данным по уравнению

$$ИТВ = (\Delta C / C_{нач} \cdot L) \cdot 100 \% , \quad (6.18)$$

где $\Delta C = C_{кон.} - C_{нач.}$ – разность между средней многолетней концентрацией ингредиента в конечном и начальном створах устьевых взморьев; L – расстояние между створами, км.

Результаты расчётов по уравнению (6.18) приведены в табл. 6.4.

Очевидно, что концентрация ГЭБЦ и ХОП под действием факторов самоочищения (разбавление, седиментация, сорбция, преобразование веществ, потребление гидробионтами, разложение и пр.) на всех устьевых взморьях закономерно уменьшалась. Концентрация нефтяных углеводородов, напротив, увеличивалась (по причинам, указанным на с. 287), а концентрация СПАВ и фенолов на взморьях больших рек сначала увеличивалась, а затем уменьшалась.

Таким образом, *ИТВ* можно использовать для интегральной характеристики интенсивности процессов самоочищения (*ИТВ* отрицательный) или загрязнения (*ИТВ* положительный) на разнотипных устьевых взморьях.

Таблица 6.4 – Индекс трансформации веществ, % на км

Устьевое взморье	Фосфаты	Нитраты	Кремний	НУ	СПАВ	фенолы
Днепровский лиман	-0,8	-1,1	-0,8	0,6	1,3/-1,8	1,7/-2,0
Бугский лиман	-1,3	-2,5	-1,1	0,6	1,1	5,0/-1,7
Взморье р. Дунай	-2,7	-2,3	-1,3	1,8	1,7/-0,3	2,5/-0,6
Севастопольская бухта	-3,8	-10,3	-7,7	61,5	61,5	12,3

На всех устьевых взморьях рек – чем больше концентрация растворённого вещества в начальном створе, тем меньше индекс его трансформации. Согласно полученным результатам (табл. 6.4), в Севастопольской бухте преобразование биогенных веществ происходило наиболее активно и, в то же время, она наиболее сильно загрязнялась НУ, СПАВ и фенолами. Днепровско-Бугский лиман слабо очищался от ГЭБЦ (табл. 6.4), а загрязняющие вещества аккумулировались в его восточной и центральной частях и в Бугском лимане (рис. 4.20–4.22).

Следовательно, процессы антропогенного загрязнения Днепровско-Бугского лимана, Севастопольской и Жебриянской бухт негативно влияли на функцию самоочищения их воды от загрязняющих веществ, но при этом самоочищающая способность воды от ГЭБЦ сохранялась. Способность этих водоёмов к самоочищению от ЗВ (кроме ХОП) была, очевидно, снижена, так как вдоль их осей концентрация НУ повсюду увеличивалась, а концентрация фенолов и СПАВ сначала увеличивалась на 5–20 % (Глава 4, рис. 4.22, с. 166), а лишь затем уменьшалась. По-видимому, гидрологические и химико-биологические условия не способствовали самоочищению от ЗВ, а напротив, увеличение их концентрации являлось индикатором неблагополучия экосистем устьев рек по этим загрязняющим веществам. Поскольку НУ в основном расщепляются микроорганизмами активного ила [19], возможной причиной замедления процессов биохимического распада являлись: вынос плёнок и пятен речным стоком и их скопление в поверхностном слое воды устьевых взморьев [309], загрязнённость портовых акваторий и судоходных трасс в условиях недостаточной динамичности водной среды, избыточное загрязнение воды и донных отложений (при осуществлении судоходства, рыболовства, дампинга, сбросов сточных вод).

Способствовать загрязнению устьевых взморьев в области распреснения (рис. 6.18) также могли: устойчивость низких концентраций СПАВ в осолонённых водах и их аккумуляция [270], «массовое отмирание речного фитопланктона в солоноватых эстуарных водах», как указано в работе Гордеева В.В. [69, с. 254], и морского фитопланктона при нагонах, а также физико-химические и химические процессы, характерные для системы «маргинального фильтра» [69; 166], включая обмен загрязняющими веществами между дном и водной средой [88].

ГЛАВА 7 ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В УСТЬЕВЫХ РЕГИОНАХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

7.1 Природопользование в устьевых регионах СЗЧМ, проблемы и решения

В результате исследования удалось выделить общие черты и особенности использования ресурсного потенциала устьевых регионов, обусловленные специфическими проблемами природно-антропогенного генезиса. По природным условиям и характеру природопользования рассматриваемые морские устья рек отнесены к следующим устьевым регионам (рис. 7.1): 1 – Дунайскому (устье р. Дунай); 2 – Днепро-Бугскому (устья рек Днепр, Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Березань, Сосик); 3 – Бельбекско-Чернореченскому (устья рек Бельбек и Чёрная). Дунайский и Днепро-Бугский устьевые регионы расположены в Северо-Западном, Бельбекско-Чернореченский – в Крымском климатических районах (Глава 2, с. 71, 72).

Рисунок 7.1 – Устьевые регионы: 1 – Дунайский, 2 – Днепро-Бугский,
3 – Бельбекско-Чернореченский

По данным 2014 г. в наибольшем, Дунайском устьевом регионе, проживало около 266 тыс. чел. (на 1 км² площади территории региона, без акваторий, приходилось 14 чел.), в Днепро-Бугском – 1,2 млн. чел., (170 чел. на 1 км²), в Бельбекско-Чернореченском – около 300 тыс. чел. (4960 чел. на 1 км² в устье р. Чёрной и 2300 чел. на 1 км² в устье р. Бельбек). Несмотря на такие различия устьевых регионов, среднее водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды населения в Дунайском и Бельбекско-Черно-реченском регионах составляло (по расчёту автора [221] в соответствии с методикой, изложенной Гончаруком Е.И. в работе [67, с. 107–110]) около 0,04 км³/год, а в Днепро-Бугском – 0,2 км³/год.

Это свидетельствовало о разной антропогенной нагрузке на природу устьев, т.е. Днепро-Бугский устьевой регион был наиболее антропогенно-нагруженным, а нагрузка на два других региона была примерно одинаковой. Предлагаемая Институтом географии РАН оценка уровня антропогенной нагрузки по отношению плотности населения к речному стоку [353] даёт другие результаты. В соответствии с ней, наибольшая антропогенная нагрузка приходится на устье р. Чёрной, наименьшая – на устье р. Дунай. При такой оценке очевидна необъективность сравнения (по предложенному соотношению) антропогенной нагрузки на водные ресурсы разных по размерам и хозяйственному освоению устьев рек, так как не учитывается тот факт, что основными источниками водоснабжения в рассматриваемых регионах являлся не только поверхностный, но и подземный, и подрусловой сток, и морская вода (табл. 3.3, с. 91), а сбросы сточных вод осуществлялись как в устья, так и вне их пределов. Кроме того, антропогенная нагрузка на водные ресурсы устьевых регионов проявлялась не только в удельном объёме изъятий стока или подземных вод на нужды населения, но и в использовании водной среды устьев рек для судоходства, рыболовства, сброса сточных вод и рекреации.

В Дунайском и Днепро-Бугском устьевых регионах, несмотря на множество международных законодательных актов и соглашений [147–149; 356], а также законов причерноморских государств [44; 45; 248–250; 275] принципы сбалансированного природопользования не соблюдались. Об этом свидетельствовали негативные последствия для водохозяйственного комплекса украинского Придунавья, обусловленные гидротехническими мероприятиями в Румынии, отсутствием необходимых мер по сохранению водоносности украинских рукавов р. Дунай, а также ухудшение экологических условий Днепровско-Бугского лимана из-за несоблюдения природоохранного законодательства при активном хозяйствовании в 1961–2012 гг. [216, с. 58–69].

Устья малых рек Крыма были более уязвимыми, чем устья больших рек, так как любые виды хозяйственной деятельности, даже в верховьях рек, провоцировали экологические риски для их небольших водосборных площадей в целом. Так, аварийный сброс из водохранилища в верховьях р. Бельбек в 1999 г. привёл к затоплению и подтоплению поймы в нижнем течении реки, а разлив аммиака на притоке р. Чёрной (р. Байдарка) в 1981 г. вызвал гибель фауны и флоры

по всей длине притока и привёл к попаданию этого ингредиента в водопроводную сеть г. Севастополя. Перепланировка и застройка пойм в низовьях малых рек привела к стойкому подтоплению и затоплению территорий, наносящих значительный ущерб. Увеличение антропогенной нагрузки на устья малых рек, с паводочным режимом стока, и их побережья, подверженные негативным экзогенным процессам, требует принятия превентивных мер и их научного обоснования для обеспечения безопасности жизнедеятельности населения [269].

Общим в природопользовании рассматриваемых устьев рек была его связь с морским и речным хозяйственными комплексами и нерациональное использование природно-ресурсного потенциала, а различия заключались в преобладании разных видов использования природных ресурсов в экономике устьевых регионов, степени воздействия на природные комплексы антропогенной нагрузки и возникавших в связи с этим проблемах природопользования. Глобальными проблемами и негативными последствиями природопользования в устьевых регионах являлись: дефицит пресной воды высокого качества (из-за расположения в засушливых климатических условиях), загрязнение водной среды рек и их устьев, побережий, сокращение биологического многообразия, заиление водоёмов, затопление и подтопление территорий, засоление пойменных земель, оползни и обвалы берегов в результате эрозии и абразии, рыночный характер природопользования, отсутствие координации мониторинговых работ, а также комплексного планирования хозяйственного освоения устьевых регионов.

Проблемы, обусловленные дефицитом и качеством пресноводных ресурсов, во всех рассматриваемых устьевых регионах особенно обострились в послечернобыльское время, когда качество воды основных рек Украины снизилось из-за попадания в них радионуклидов, и внимание к местным источникам водоснабжения возросло [90; 199; 230].

Днепро-Бугский устьевой регион характеризовался наиболее развитым промышленным комплексом, в Дунайском – преобладало сельское хозяйство, а в Бельбекско-Чернореченском – городское и пригородное хозяйство. Основные виды хозяйственной деятельности, проблемы природопользования и пути их решения представлены по регионам.

7.1.1 Дунайский устьевой регион

Особенности использования природных ресурсов в Дунайском устьевом регионе показаны на рис. 7.2 и в табл. 7.1. Здесь специализация природопользования была связана с речным и морским хозяйством, водным транспортом, судостроительными, судоремонтными (деградировавшими в Украине) и рыбообрабатывающими производствами, сельским хозяйством и резервированием территорий в заповедниках. Основными факторами развития региона являлись судоходство и рыболовство, остальные производства были ориентированы на их обслуживание, они

же, в свою очередь, зависели от гидротехнических мероприятий и природных условий, которые не всегда учитывались.

Рисунок 7.2 – Особенности природопользования в Дунайском устьевом регионе

Проблемы водного транспорта в устьевом регионе обострились в связи с эмбарго и военными действиями в Югославии (1991, 1992, 1999 гг.) и их негативными последствиями, а также из-за отсутствия средств у Украины для поддержания судового хода в Килийской системе рукавов. В румынской части устья осуществлялось судоходство по Сулинскому, Георгиевскому и Тульчинскому рукавам, в то время как судоходство по украинскому рук. Прорва было прекращено, а по рук. Быстрому восстановлено не в полном объёме. Румыния, в нарушение международных соглашений [147; 148; 356], складировала грунт в Килийском рукаве и наращивала дамбу у Измаильского Чатала (рис. 7.2), вплоть до перекрытия половины русла р. Дунай, что способствовало не только заилению перекатов Килийского рукава, загрязнению воды и донных отложений, но и отложению наносов на румынском побережье за стокорегулирующей дамбой, а также перераспределению стока р. Дунай в пользу Румынии (Глава 5, с. 220–221; 231). Кроме широкомасштабного гидротехнического строительства (спрямления, углубления рукавов, строи-

тельства дамбы у Измаильского Чатала, водохранилищ, каналов, дамбования русел [52; 426; 438]), Румыния осуществляла водозабор и отвод воды (около 2 км³/год) из системы Килийского рукава в Сулинский рукав по 9 каналам (рис. 7.2), орошавшим сельскохозяйственные массивы между этими рукавами. Это привело к значимым тенденциям уменьшения среднего годового расхода воды Килийского рукава (Глава 6, рис. 6.9, с. 231), соответственно, увеличивался сток румынских рукавов – за 100 лет он вырос на 20 % [52; 83]. Перераспределению дунайского стока в

Таблица 7.1 – Особенности природопользования в Дунайском устьевом регионе, проблемы и решения

Отрасль хозяйства	Проблемы природопользования	Предлагаемые решения
гидротехническое строительство, водный транспорт, портовое хозяйство, грузоперевозки, судоремонт	перераспределение стока р. Дунай и дампинг грунта в Килийском рукаве Румынией, заиление судоходных каналов, баров, Жебриянской бухты, обмеление и отмирание украинских рукавов, деградация ДБЗ и портов, загрязнение природной среды	укорочение дамбы на р. Дунай у Измаильского Чатала, запрет дампинга грунта в Килийском рукаве, углубление перекатов рук. Прорва и Соединительный, поддержание судового хода в рук. Быстром, сооружение защитных дамб в его устье
сельское и тростниковое хозяйство, поливное земледелие, садоводство, огородничество	безвозвратные потери, обогащение сточных вод биогенными веществами и пестицидами, эрозия побережий, засоление	контроль качества сточных вод, штрафные санкции, противозерозионные мероприятия
рыбоводство, рыболовство, рыбообработка	загрязнение среды, заморные явления, недостаточный контроль уловов, браконьерство	активизация контроля, мониторинг и прогноз заморов, увеличение штрафов
резервирование территорий заповедника «Дельта Дуная» и Дунайского биосферного заповедника	обмеление водных объектов в маловодные периоды, транзит загрязняющих веществ в вершину устья со стоком р. Дунай	поддержание глубин в Килийской системе рукавов, международный мониторинг состояния водной среды
озёрное хозяйство	заиление и обмеление озёр, ухудшение качества воды, заморные явления, прекращение водоснабжения населённых пунктов	регулирование стока р. Дунай, оптимальное зарыбление озёр, укрепление откосов, ремонт дамб, расчистка каналов, мониторинг

пользу Румынии способствовали и естественные причины: действие силы Кориолиса, смещающей поток вправо (очевидно, по этой же причине скат бóльшей массы молодежи черноморской сельди происходил в основном в рукавах Тульчинском, Георгиевском, Старостамбульском и Большом), и вдольбереговой транспорт наносов, способствующий обмелению устьев рукавов Килийской системы и Жебриянской бухты (глубины которой уменьшились в 2–4 раза [30]). Ещё одной проблемой для судоходства было маловодье. Например, низкая летне-осенняя межень 2011 г. привела к закрытию навигации на 4 месяца, а в последующую за этим суровую зиму 2012 г., когда р. Дунай и Килийский рукав замёрзли, навигация не была восстановлена. Особенно

обострялись проблемы природопользования при опасных явлениях (Глава 5, рис. 5.3; табл. 5.4).

Неспособность Украины урегулировать свои стратегические интересы в Дунайском регионе на международном уровне и прекращение содержания судового хода в рук. Прорва и рук. Килийском (в совокупности с экономическими причинами, природными процессами и нерациональным природопользованием) привели к тому, что водотоки в украинской части дельты заиливаются и отмирают, отмечается устойчивая экологическая деградация земель Дунайского биосферного заповедника (ДБЗ), придунайских лимано-озёр, мест рыболовства, нереста и откорма рыбы. Поскольку производственно-промышленный комплекс был ориентирован на обеспечение внешнеэкономических международных связей, его потенциал снизился в связи с потерей Украиной судового хода (новый судоходный канал в рук. Быстром не доведен до проектной мощности из-за протестов Румынии), упадком портового хозяйства и падением уровня экономического развития в украинской части устья р. Дунай. Это привело к снижению геополитической роли Украины и росту социально-экономической напряжённости в стране.

Сельское и тростниковое хозяйство являлись ведущими отраслями в структуре природопользования и основными водопотребителями, особенно, рисосеяние (малопродуктивное в настоящее время, поэтому площади под рис сокращены в 3 раза). Однако усиливавшееся засоление почв на обвалованных территориях (что не исключало их подтопления), обусловленное прекращением их затопления речной водой, а также социально-экономические причины, способствовали удорожанию сельскохозяйственного производства и делали использование польдеров малоперспективным. Отмечался спад в животноводстве, садоводстве, огородничестве и других видах сельскохозяйственной деятельности. В результате, согласно данным государственной статистической отчетности, общий водозабор в украинской части Дунайского региона, уменьшился в последние 25 лет на 25 %, уменьшилось и загрязнение ГЭБЦ и ХОП в устье р. Дунай.

В Дунайском регионе расположены нерестилища, места нагула рыб, рыбопитомники. В рукава р. Дунай заходили стада ценной черноморско-азовской полупроходной сельди (дунайской сельди), составляющей, по данным [259], 50 % уловов. В настоящее время большинство уловов, особенно осетровых и других ценных пород рыб, утаивалось, поэтому достоверной оценки тенденций изменчивости рыбопродуктивности и рыбного промысла не получено. Основными проблемами при рыбохозяйственном использовании ресурсов устья было маловодье в рукавах Килийской дельты, загрязнение воды, обвалование рукавов, нарушившее внутридельтовый водообмен, браконьерство, перелов рыбы и заморные явления (табл. 7.1).

Дельта р. Дунай признана мировым достоянием и отнесена к охраняемым природным территориям под эгидой ЮНЕСКО. В её пределах расположены румынско-украинский Дунайский биосферный заповедник (ДБЗ, Украина) и заповедник «Дельта Дуная» (Румыния). По данным [259], уменьшение водоносности рукавов в ДБЗ уже привело к снижению жизнеспособности

охраняемых видов, естественных функций водно-болотных угодий, нанесло ущерб биологическому разнообразию фауны и флоры. В межень глубины в рукавах местами уменьшались до 1 м и менее, что препятствовало как судоходству, так и миграции рыбы на нерест, снижая рыбопромысловое значение рукавов.

Кроме указанных аспектов природопользования важным звеном хозяйственной деятельности являлись водопользование и водопотребление из озёрных комплексов: Кагул, Ялпуг-Кугурлуй, Катлабух, Китай и водохранилища Сасык, в которые поступала вода из р. Дунай. В настоящее время, в засушливые периоды, минерализация отдельных озёр повышалась до 1–6 ‰, так как дунайская вода в них не всегда поступала из-за низкого уровня и отсутствия средств на ремонт шлюзовых насосных станций. Участились заморные явления в озёрах, усилилось их заиление и обмеление, ухудшилось качество воды. Отмечались случаи перебоев в водоснабжении населённых пунктов. Озёра и плавни, как места промысла пресноводных рыб, неоднократно зарыблялись, иногда видами, не адаптированными к местным условиям, что также способствовало заморным явлениям. В водохранилище Сасык, а ранее и в озёра, попадала молодь черноморской сельди, которая зимой обычно погибала, не имея возможности мигрировать в море. Отсутствие действенного контроля уловов, массовое браконьерство, приводило к утаиванию реального объёма вылова пресноводной рыбы на 10–100 %, в зависимости от величины улова и видового состава [52; 259]. Наиболее рыбопродуктивным в регионе, по данным ГП «Одесский центр Южного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии», являлось оз.-лаг. Сасык, преобразованное в пресноводное водохранилище [360]. Для поддержания его режима осуществлялась переброска дунайской воды из рук. Соломонова. В 2004 г. был введен «Режим рыбохозяйственной эксплуатации специализированного товарного рыбного хозяйства водохранилища Сасык (2004–2013 г.г.)», разработанный Одесским центром ЮгНИРО. По исследованиям регионального проектно-изыскательского института «Укрюгднепроводхоз» в настоящее время экологическая ситуация на водохранилище стабилизировалась. При осуществлении ликвидации дамбы (что предлагается некоторыми экологическими и научными организациями), отделяющей пресноводное водохранилище Сасык от моря, и перепрофилировании природопользования на рекреационно-туристические услуги, погибнут рыбные запасы, снизится занятость населения в сфере рыбоводства и рыболовства. Поэтому дискуссия о раздамбовании Сасыкского водохранилища и возвращения ему естественного режима лимано-лагуны продолжается до сих пор, и единого мнения пока не выработано [360].

Застройка прибрежных участков и сельскохозяйственное освоение ранее затапливаемых земель в этом устьевом регионе привели к тому, что в период повышенного стока реки и нагонов поймы затапливались. Это требовало значительных средств для сооружения и ремонта защитных

дамб, гидромелиоративных мероприятий по поддержанию плодородия почв. Ущерб от затопления иногда был существенным (1969, 1970, 1973, 2005, 2006, 2010, 2013 гг.). Угроза затопления усугубилась из-за заиления рук. Килийского, что уменьшило его водопропускную способность, особенно при ледоходе, и увеличило гидравлическое давление на берега и защитную дамбу от г. Рени до г. Вилково (протяжённостью около 150 км). Вдольрусловое дамбование рукавов привело к: изменению естественных морфологических процессов (наносонакопление в поймах уменьшилось, а значит и вертикальный рост дельты), прекращению естественного водообмена между водотоками и водоёмами (уменьшавшего сток половодья и увеличивавшего сток межени), прекращению удобрения земель биогенными веществами, увеличению засоления почв и лимано-озёр, заболачиванию, снижению самоочищающей способности водных объектов и ухудшению качества воды, сокращению площадей нерестилищ, потере рыбопродуктивности, опреснению и загрязнению устьевого взморья. В результате недоучёта (при застройке ранее затапливаемых и подтапливаемых территорий) гидравлической связи между грунтовыми водами и поверхностным стоком, участились случаи подтопления и даже разрушения жилых построек в Придунавье. Это характерно почти для всех морских устьев рек СЗЧМ.

На основании стационарных и экспедиционных наблюдений Дунайской гидрометеорологической обсерватории, комплексного анализа гидрологических и гидрохимических процессов (**Главы 3–6**) установлено, что все виды хозяйственной деятельности в устье этой реки в меньшей степени влияли на качество воды, чем транзит загрязняющих веществ из стран Дунайского бассейна. Местные источники загрязнения (включая судоходство и Придунайскую оросительную систему) были менее значимыми из-за спада производства сельскохозяйственной продукции и деградации транспортной отрасли, портового и городского хозяйства украинского Придунавья и Дунайского пароходства (**Глава 6**, с. 280–282).

Указанные проблемы в будущем будут усугубляться, так как: продолжается дампинг грунта Румынией в Килийском рукаве, что приведёт к ещё большему обмелению украинских акваторий устья и смещению фарватера в сторону Украины из-за аккумуляции наносов у румынского берега, в тылу дамбы вблизи Измаильского Чатала; не поддерживается необходимый водообмен между рекой и лимано-озёрами; осуществляется реконструкция (углубление, спрямление) и эксплуатация 4 румынских каналов, что ещё больше уменьшит сток Килийского рукава; строятся ещё 2 судоходных канала (Дунай–Бухарест, Дунай–Адриатика), которые также уменьшат сток р. Дунай в принадлежащие Украине рукава; спрямляется русло рук. Сулинского в районе г. Тульча; реконструируются порты Вуковар (Хорватия) и Джурджулешты (Молдова), на которые переориентируются международные транспортные потоки, усиливая, тем самым, деградацию украинских портов. Категорический, многолетний отказ Румынии в согласовании Украине

дноуглубительных работ в Килийском рукаве (и снижение тарифов на проход судов по Сулинскому каналу) приведёт к ещё большему его обмелению и снизит эффективность судоходства по украинскому рук. Быстро, что в будущем может сделать проводку судов по нему нерентабельным. Блокируя расчистку русла Килийского рукава, Румыния не только снижает конкурентоспособность украинского судового хода, но и способствует затоплению как украинской, так и своей территории. Следовательно, при таких тенденциях, ущербы от паводков в низовьях реки и в её устье будут возрастать (особенно, с учётом возможного изменения климата). Несмотря на принятую «Концепцию Государственной целевой региональной программы развития украинского Придунавья на 2014–2017 гг.» и «Стратегию развития морских портов Украины до 2038 г.», которые призваны решить некоторые проблемные вопросы природопользования, грузооборот в украинских рукавах р. Дунай в настоящее время неуклонно снижается и мер не предпринимается. Маловероятно, что Украина, в одиночку, сможет отстоять свои интересы в области судоходства на международном уровне. При разработке газонефтеносного шельфа в районе о. Змеиный, переданного Украиной Румынии, увеличится загрязнение взморья реки. Негативное трансграничное влияние на качество воды в украинской части устья р. Дунай будет сохраняться или даже усугубляться отсутствием действенных мер по предотвращению загрязнения реки Румынией и др. странами Евросоюза. Продолжающиеся мероприятия, проводимые Румынией по улучшению своих судовых ходов, при отсутствии или неэффективном реагировании со стороны Украины, привели и приведут в будущем к потере этой страной водных ресурсов, статуса международного транспортёра, территорий и акваторий (например, уже сейчас Румыния претендует на острова Майкан и Лимба), а также к деградации портов, ДБЗ и дотационности депрессивных районов Придунавья.

Предотвращение негативных последствий нерационального природопользования в Дунайском устьевом регионе и минимизация ущербов, в первую очередь, зависит от решения проблем, обусловленных перераспределением стока р. Дунай в пользу румынских рукавов (табл. 7.1). Ликвидация (что нереально в современных условиях) или уменьшение длины стокорегулирующей дамбы у Измаильского Чатала, ограничения на сооружение новых каналов Румынией, их углубление и спрямление, запрет дампинга в Килийском рукаве, препятствия его расчистке со стороны Румынии – потребуют международного урегулирования в рамках принятой в 1991 г. в г. Эспо «Конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте» и других международных соглашений по природопользованию в устье международной р. Дунай. Вряд ли это возможно осуществить без судебных санкций в отношении Румынии.

Сохранению водных ресурсов Килийской системы рукавов и Дунайского биосферного заповедника, экономического значения г. Вилково и портов Измаил, Рени, Килия и Усть-Дунайск, уменьшению выноса наносов в Жебриянскую бухту – будут способствовать: дночерпание в

рук. Прорва и перекаатов в рук. Килийском и р. Дунай (5 перекаатов между г. Рени и рук. Быстрый), так как создание глубоководного судоходного канала в рук. Быстрый не решит вопросов сохранения водности Очаковской системы рукавов, не предотвратит её отмирания, а, напротив, будет способствовать перераспределению стока в Килийской системе рукавов при углублении канала до проектных параметров. Для сохранения транспортной связи порта Усть-Дунайск с р. Дунай и судоходства по рук. Прорва для малотоннажного флота (с осадкой ≤ 3 м) потребуется реконструкция Соединительного канала и сооружение потоконаправляющей дамбы в его истоке для увеличения стока рук. Прорва [337; 338]. Однако такие гидротехнические мероприятия требуют научного обоснования и целесообразны, если доходность грузоперевозок по р. Дунай превысит расходы на них.

Улучшение проточности и увеличение водоносности рукавов Быстрого и Прорва будут способствовать восстановлению водного баланса в дельте и на их взморьях, нормализуют экологические условия в Килийской дельте р. Дунай и Жебриянской бухте, благоприятно отразятся на рыбной отрасли, социально-экономическом развитии региона, повысят эффективность и снизят стоимость судоперевозок в рукавах р. Дунай. Кроме того, это уменьшит ущербы от паводков, так как увеличится пропускная способность русел, и средства будут направлены на долговременные противопаводковые мероприятия, а не на ежегодную ликвидацию их последствий и аварийные работы, что будет способствовать устойчивому развитию региона.

Восстановление судоходства по рук. Быстрому р. Дунай, начатое с 2004 г., обосновано рядом авторов (Шуйским Ю.Д., Берлинским Н.А., Гаркавой Г.П., Михайловым В.Н., Морозовым В.Н., Романенко В.Д., Можаровским Г.С. и др.). Решение о сооружении канала рук. Быстрый – море имело убедительное гидрометеорологическое обоснование [30; 52; 259; 337; 338]. Правильность выбора судового хода по этому рукаву подтверждается анализом динамики дельты [52], а также исследованием гидрологического режима (**Глава 3**), качества воды (**Глава 4**), процессов загрязнения и анализом устойчивости русел устьевых рукавов (**Глава 6**). Для полной реализации этого проекта потребуется продолжить работы, остановленные Румынией, а также предусмотреть строительство (при необходимости в будущем) потокорегулирующих сооружений на о. Кубанском в районе истока рук. Быстрый и защитных дамб в его устье, что будет способствовать перераспределению стока рук. Старостамбульского в пользу рук. Быстрого и защите барового участка от аккумуляции наносов. Такие меры (кажущиеся необоснованными в настоящее время, так как рук. Быстрый – активен) позволят дольше сохранить в активной фазе судоходный рукав, а также уменьшить объём наносов, поступающих со стоком рук. Старостамбульского, будут защищать бар Сулинского рукава от поступающих с севера наносов, что предупредит возможные претензии румынской стороны. Особенно это актуально для стабилизации распределения стока р. Дунай при отказе Румынии идти на уступки Украине в решении спорных вопросов. В против-

ном случае Украина утратит стратегически значимое положение на р. Дунай, потенциал международного транспортёра и статус морской державы, так как сейчас теряет не только порты, но и свой флот, тоннаж которого с 1990 г. сократился в 10 раз, а объёмы грузоперевозок морским и речным транспортом уменьшились соответственно в 16 и 23 раза (по данным «Порты Украины плюс» № 3 (135), 2014 г.).

Для решения проблем озёр, расположенных в дунайской дельте, потребуется организация комплексного (в том числе и гидробиологического) мониторинга, направленного на выяснение причин участвовавших заморных явлений [221]. Улучшению гидрологического режима и предотвращению заиления и заболачивания лимано-озёр Кагул, Ялпуг-Кугурлуй, Катлабух и Китай будет способствовать разработка специальных защитных мероприятий. В первую очередь, это связано с оптимизацией регулирования стока р. Дунай, укреплением откосов и восстановлением (ремонтом) дамб, расчисткой каналов, соединяющих водоёмы с р. Дунай [52]. С целью повышения рыбопродуктивности водных объектов, наряду с режимом специализированного товарного рыбного хозяйства, целесообразно осуществлять комплекс предусмотренных мероприятий, оптимизировать промысловое, любительское и спортивное рыболовство, усилить контроль за уловами и ужесточить штрафные санкции за браконьерство.

Для мониторинга трансформации дельты и динамики гидрографической сети р. Дунай можно использовать космические снимки и опыт работ МГИ РАН, что могло бы значительно повысить качество исследований и способствовать более достоверной оценке возможных в будущем изменений гидрологических и морфометрических характеристик. В связи с тем, что в Дунайском устьевом регионе отмечалось выдвижение Килийской дельты на участках Белгородского, Очаковского и Старостамбульского рукавов [52], выполнение наносами Жебриянской бухты и бухты Мусура [30], эти заносимые участки нерационально планировать под сооружение судоходных каналов. Обмеление Жебриянской бухты, очевидно, будет продолжаться и Стенцовские плавни, теряя связь с морем, могут стать объектом для сохранения и заповедывания. Укрепление косы Птичьей (например, материалом дночерпания, бунами, обсаживанием растительностью) обеспечит устойчивость этого естественного ограничителя растекания потока в зоне подходного канала рук. Быстрого и защитит побережье ДБЗ от разрушения волнами.

Только сбалансированное природопользование, восстановление на отдельных участках (где нет инфраструктуры стратегически важных объектов и исторически сложившихся населённых пунктов) взаимосвязи между рекой и поймой, ответственность стран на законодательном уровне за загрязнение р. Дунай и компенсация ущербов, информационный обмен в рамках международных договорённостей 1998 г. (о создании Румынией, Молдавией и Украиной еврорегиона «Нижний Дунай») – могут уменьшить напряжённость и обеспечить экологическую безопасность в Дунайском регионе и СЗЧМ. Наиболее перспективным аспектом усовершенствования приро-

допользования здесь представляется развитие судоходства, рыбоводства и рыболовства, вынос интенсивного земледелия за пределы естественно-затапливаемой поймы, поддержание водоносности Килийской системы рукавов, а также сохранение ресурсного потенциала оз. Сасык для его использования в земледелии на орошаемых массивах левобережья.

7.1.2 Днепро-Бугский устьевой регион

Использование природных ресурсов Днепро-Бугского устьевоего региона – многосекторное (рис. 7.3, табл. 7.2), но, в отличие от Дунайского региона, здесь расположены крупные промышленные центры юга Украины, порты-города Николаев, Херсон и Очаков (где сосредоточено

Рисунок 7.3 – Особенности природопользования в Днепро-Бугском устьевом регионе

75 % населения всего региона). В бассейне р. Юж. Буг функционировал и расширялся Южноукраинский энергетический комплекс, использовавший водные ресурсы реки. Поэтому местные источники загрязнения вносили существенный вклад в ухудшение качества воды, что являлось главной проблемой природопользования в этом, экономически развитом, регионе.

Основную роль здесь играла припортовая промышленность, переработка глинозёма, транспортировка

грузов железнодорожным, автомобильным, речным и морским транспортом, снижавшие рыбохозяйственный потенциал региона (рис. 7.3). Судостроение, ранее развитое в регионе, пришло в упадок. Судоходство (важнейшая отрасль экономики) являлось одним из основных негативных факторов загрязнения, особенно акватории портов. Причём, очевидно, не столько как прямой источник загрязнения водной среды из-за осуществлявшихся сбросов льяльных вод, сколько из-за необходимости постоянных ремонтных работ в судоходном канале и утечек нефтепродуктов. Свой вклад вносили и маломерные плавсредства, количество которых увеличилось.

Водные объекты, расположенные в дельте р. Днепр, и Днепровский лиман относились к рыбопромысловым районам, поэтому от их загрязнения наибольшие потери несло рыбное хозяйство. Внутригодовое перераспределение стока р. Днепр (Глава 3, с. 77–79), уменьшение стока в период половодья, когда лиман «промывался» полыми водами и обводнялись нерестилища, рез-

кие попуски гидроузлов, накопление ГЭБЦ в каскаде днепровских водохранилищ, понизившее кормовой потенциал низовьев реки, изменение температурного режима (с. 102, 103) – привели к изменению биологических циклов, нарушению естественных условий нерестилищ, снижению рыбопродуктивности [19; 190; 215; 216, с. 62; 255]. В современный период (последние 25 лет) уловы сократились на порядок или скрывались, а масштабы браконьерства возросли до объёмов промышленного лова [19; 104; 216, с. 62; 244]. Бугский лиман и устьевые участки рек Юж. Буг и Ингул уже не относятся к рыбопромысловым акваториям, эти районы устья приобрели черты технического водоёма, использующегося для судоходства и сброса сточных вод г. Николаева. Плотностная стратификация воды (**Глава 4**, с. 121–126; **Глава 6**, с. 249), затрудняющая вертикальный обмен, перегрев мелководий и загрязнение среды привели не только к снижению уловов, но и к заморным явлениям, носящим характер экологических катастроф [215; 216, с. 490–502]. Они стали частым опасным экологическим явлением (**Глава 5**, с. 206–211) в устье рек Днепр и Юж. Буг, приносящим, почти ежегодно, миллионные убытки хозяйству Днепро-Бугского устьевого региона.

Дампинг, вопреки природоохранному законодательству [45; 275], осуществлялся непосредственно в Днепро-Бугском лимане, иногда даже в период нерестовых запретов [19; 216, с. 397], и способствовал вторичному загрязнению мелководий нефтепродуктами, фенолами и другими опасными загрязняющими веществами, обмелению лимана и зарастанию [216, с. 458–462], заморам в межень и при значительном прогреве воды, снижению рыбопродуктивности водоёма [94; 104]. Сейчас только в Бугском лимане насчитывается более 20 свалок ила в прибрежной полосе, что подрывает кормовую базу рыб, снижает рекреационный потенциал побережья, является нарушением законодательства [45].

Орошаемые сельскохозяйственные массивы были приурочены к правобережью Днепро-Бугского лимана, что способствовало эрозии побережий, осыпям и обвалам [212; 216, с. 32–40; 244]. В настоящее время Ингулецкая оросительная система функционирует в новом режиме: забор воды из р. Днепр (по руслу «антиреки» Ингулец) прекратился, а из р. Ингулец, загрязняющейся сбросами шахтных и сточных вод Кривбасса, увеличился. На левом берегу, на Кинбурнской косе, преобладали объекты природно-заповедного фонда (рис. 7.3). В последнее время эти прибрежные территории хаотично застраивались, увеличивался поток туристов, береговой песчаный вал Кинбурнской косы разрушали транспортными средствами, что приводило к угрозе затопления (а иногда и к затоплению) при штормах, подвергались опасности деградации озёра-нерестилища, ареалы распространения уникальной фауны и флоры.

Анализ природопользования, ландшафтного разнообразия, климатических, геоморфологических, экологических, гидрогеологических и гидрологических особенностей Днепро-Бугского устьевого региона, с использованием разработанных предшествующими авторами принци-

пов районирования [16; 19; 23; 49; 102; 114; 126; 129; 143; 145; 153; 244; 262; 308; 353], различий в антропогенной нагрузке, загрязнённости среды [349–351; 364], а также общих черт отдельных районов, позволил выделить в пределах устьевого региона три крупных природно-антропогенных комплекса (рис. 7.4): I – Днепро-Ингулецкий, II – Южнобугско-Ингульский и III – Очаково-Алёшкинский. Районирование осуществлялось на основе многолетних наблюдений гидрометеорологического режима, качества водной среды [83; 84], а также материалов различных организаций и авторов [244], с использованием принципов комплексного картирования, изложенных в работах Козловой Э.В., Воронова А.Н., Иванова В.В., Покровского С.Г. и др. [129; 145; 262].

Общая антропогенная нагрузка на среду наиболее велика была во втором районе, Южнобугско-Ингульском, поэтому указанные проблемы природопользования здесь были наиболее

Рисунок 7.4 – Природно-антропогенные комплексы
Днепровско-Бугского устьевого региона:
I – Днепро-Ингулецкий; II – Южнобугско-Ингульский;
III – Очаково-Алёшкинский

острыми. Именно здесь сооружаются новые терминалы, осуществляется дноуглубление подходов каналов, что приведёт к ухудшению качества воды. Аналогичное районирование для других устьевых регионов пока не выполнялось, хотя это было бы полезно для детализации особенностей использования природных ресурсов и возникающих при этом проблем.

При сохранении негативных тенденций хозяйственной деятельности в этом устьевом реги-

оне, процессы деградации экосистемы Днепро-Бугского лимана будут активизироваться. В стратегии будущего социально-экономического развития Днепро-Бугского устьевого региона основное внимание уделялось морской инфраструктуре, а именно сооружению портов для перевалки грузов, включая опасные. В связи с этим предполагается углубление судоходного канала (до 13–15 м) для обеспечения захода в порты судов с большей осадкой, чем сейчас позволяет канал (8–11 м). Однако полигон (вне границ устья реки, на расстоянии 50–60 км) для утилизации грунта, изымаемого при очистке судоходных каналов, вряд ли будут использовать (это приведёт к существенному удорожанию работ), так как уже стало традицией складирование изъятых грунта непосредственно в лимане и на его берегах. Углубление судоходного канала планируется вплоть до г. Вознесенска (на 32 км выше верхней границы устьевого участка р. Юж. Буг), что

может привести к интенсификации интрузии солёной воды на устьевой участок реки (**Глава 6**, с. 262–267). Планируемый под новые грузопотоки универсальный морской комплекс из 9 специализированных терминалов в Бугском лимане (в дополнение к 1 речному и 3 морским портам г. Николаева) увеличит антропогенную нагрузку в Бугском лимане, у с. Галициново, где осуществляется сброс сточных вод г. Николаева (**Глава 6**, рис. 6.35, с. 279). Увеличится загрязнение центральной, наиболее застойной части лимана (**Глава 6**, рис. 6.39, с. 290).

Наметившаяся тенденция разгосударствления стратегических объектов аграрной отрасли, чему способствует удорожание водных ресурсов и электроэнергии, может привести к потере для местных производителей сельхозпродукции земельных угодий (а кое-где уже привело), неконтролируемым землепользованию и мелиорациям побережий, их застройке и загрязнению, что усилит процесс деградации почв и эрозионные процессы.

Особенности природопользования в Днепро-Бугском регионе, проблемы и риски, порождаемые конфликтностью различных видов хозяйственной деятельности (табл. 7.2), таковы, что здесь повышение ресурсного потенциала, при сохранении природы устья, предусматривает решение ряда бассейновых проблем, связанных с зарегулированием стока р. Днепр и её загрязнением, что потребует активизации международного сотрудничества между Россией, Белоруссией и Украиной, в соответствии с концепцией экосистемного подхода [353], провозглашённого и одобренного на конференции ООН «Рио–92».

Основной задачей, ввиду установленной автором зависимости режима, качества воды, явлений и процессов, характерных для устья рек Днепр и Юж. Буг, от стока р. Днепр (**Главы 3–6**), является оптимизация попусков из днепровских водохранилищ таким образом, чтобы предотвратить деградацию экосистемы устья. Сложность решения заключается в минимизации влияния эвтрофированной воды водохранилищ и их илов, загрязнённых радионуклидами после аварии на ЧАЭС: сбросы поверхностной воды из водохранилищ способствовали поступлению избытка пресноводных гидробионтов, а придонной – загрязнённой илами воды. В соответствии с «Правилами эксплуатации водохранилищ Днепровского каскада, 2001 г.» изменение режима попусков должно заключаться в изменении их объёма, перераспределении во времени, синхронизации в масштабах каскада. При этом они должны быть оптимальными и для рыбного хозяйства [101]. Это может способствовать как восстановлению и сохранению рыбопродуктивности лимана, так и уменьшению «цветения» воды в лимане, предотвращению заморных явлений.

Для повышения отдачи водохранилищ потребуются организация специальных мероприятий по борьбе с сине-зелёными водорослями, внедрение новых технологий в промышленности и сельском хозяйстве, реконструкция и строительство очистных сооружений, деминерализация части стоков (шахтных вод), зарыбление водохранилищ растительноядными видами рыб и контроль их уловов (с целью предотвращения перелова). Избежать сероводородного загрязнения

лимана можно путём его «промывки» значительными попусками Каховской ГЭС [216, с. 360].

Исследование тенденций к обмелению Днепровско-Бугского лимана и выдвигению его аккумулятивных берегов в лиман и море (Глава 6, с. 223–225, [212]) подтверждает необходимость запрета дампинга грунта, изъятых при дноуглублении, вдоль судоходного канала (который осуществлялся даже в забровочных частях подходных каналов к портам Николаев и Херсон) и в прибрежной защитной полосе (как в Бугском лимане), так как он способствовал обмелению лимана, ускорял заиление канала, активизировал заболачивание и зарастание мелководий, способствовал загрязнению, возникновению гипоксии и заморов [215].

Таблица 7.2 – Особенности природопользования в Днепро-Бугском устьевом регионе, проблемы и решения

Отрасль хозяйства	Проблемы природопользования	Предлагаемые решения
крупные промышленные предприятия, переработка глинозёма, городское хозяйство	загрязнение воды и воздуха	усовершенствование технологий производства и очистки выбросов, стоков, штрафные санкции
припортовая промышленность, портовое хозяйство, водный транспорт, судостроение и судоремонт, дампинг грунта в лимане, застройка побережий	загрязнение воды нефтяными углеводородами и другими загрязняющими веществами, заиление и проникновение галлокина по судоходному каналу в устьевые водоёмы и водотоки, оползни, обмеление лимана	комплексный мониторинг, дночерпание, оптимизация попусков из водохранилищ, запрет дампинга грунта в лимане, борьба с эрозией, штрафные санкции за нарушения
рыбоводство и рыболовство	загрязнение и эвтрофирование воды, дефицит кислорода, заморные явления, уменьшение стока половодья, снижение биоразнообразия, браконьерство	комплексный мониторинг, профилактика и прогноз заморов, оптимизация попусков, борьба с сине-зелёными водорослями, зарыбление растительноядными видами рыб, контроль уловов, штрафы
природно-заповедный фонд (Черноморский биосферный заповедник)	сокращение резервируемых территорий из-за застройки	контроль землепользования, ужесточение наказания нарушителей законодательства
поливное земледелие	безвозвратные потери, загрязнение воды, эрозия побережий, способствующая обмелению	совершенствование технологий сельскохозяйственной деятельности, борьба с эрозией почв

На основе балансовых расчётов [212] установлено, что в настоящее время аккумуляция наносов в районе Одесской балки будет способствовать её обмелению, а, следовательно, возможен забор песка и гальки для хозяйственных нужд в этой акватории. Иногда такой забор осуществлялся в устьях малых рек или у побережья Крыма, что нерационально, так как может привести к негативным геоморфологическим изменениям ценного приморского ландшафта и ак-

вакультуры. Сохранение тенденций к обмелению Днепровско-Бугского лимана и открытой части устьевого взморья из-за нерационального природопользования и природных факторов может привести в следующем тысячелетии к геоморфологическим изменениям, показанным на рис. 7.5.

Рисунок 7.5 – Возможные геоморфологические изменения морского устья рек Днепр и Юж. Буг

Повышение уровня моря (по нашим расчётам) не сможет компенсировать заиливание рассматриваемой акватории (Глава 6, с. 224), так как кроме негативного эффекта от дампинга грунта усилится абразия берегов, что активизирует их обрушение, с последующим зарастанием образовавшихся мелководий. Интегральное воздействие этих факторов и может привести к снижению ресурс-

ного потенциала устья рек Днепра и Юж. Буга.

Для повышения рыбопромыслового значения Днепро-Бугского устьевого региона требуется восстановление рыбопроизводящих предприятий в Николаевской области, оптимизация порядка выдачи лицензий на промышленный лов рыбы, усиление контроля за оформлением и реализацией уловов, ужесточение штрафных санкций за браконьерство и загрязнение воды, запрет всех видов негативной водохозяйственной деятельности в период нереста. Выявленные положительные тенденции температуры воды (Глава 3, с. 102, 103) увеличили опасность заморов и их частоту (Глава 5, с. 202, 207). Поэтому, для уменьшения потерь рыбных ресурсов и восстановления рыбопродуктивности водных объектов, предупреждения, прогноза и ликвидации заморов, рекомендуется: восстановить гидробиологический мониторинг и организовать комплексный мониторинг заморных явлений; разработать модель функционирования экосистемы устья рек Днепр и Юж. Буг, которая будет инструментом анализа и прогноза экстремального ухудшения качества воды и заморов; разработать и внедрить комплекс мероприятий по снижению сбросов биогенных и загрязняющих веществ, утилизации излишек фитопланктона, образующегося при определённых условиях, аэрации застойных акваторий в межень и штиль, путём организации специального регулирования сбросов из водохранилищ в замороопасные периоды, а также посредством биологического и биохимического регулирования качества воды экосистемы устья.

Целесообразность проведения дальнейших исследований температурного режима устья рек Днепр и Юж. Буг, включающих оценку его изменений вследствие глобального потепления климата и активизации хозяйственной деятельности, уточнения масштабов теплового влияния

квазистационарного потока морских вод на лиман, роли теплообмена через Кинбургский пролив, особенно в период штормов и сгонно-нагонных явлений, обусловлена влиянием изменений температуры воды на увеличение масштабов и частоту заморных явлений в этом устье рек и на шельфе СЗЧМ (Глава 5, с. 207–209; [215; 216, с. 494–502]).

Отмеченный в Главе 3 (с. 80) рост уровня воды, достигавший на отдельных постах в последние 20 лет 0,76 см/год, потребует разработки мероприятий по предотвращению затопления побережий, активизации оползней, осыпей, дополнительных вложений в строительство берегозащитных сооружений. В то же время, повышение уровня воды будет благоприятно для судоходства, так как увеличатся глубины судоходных каналов и портовых акваторий. Однако это увеличение глубины может быть компенсировано дополнительной аккумуляцией наносов из-за уменьшения скорости течений и разрушения берегов. С ростом уровня воды увеличится абсолютная величина нагона и уменьшится величина сгона. Уменьшится величина стоковых течений, а, следовательно, проточность лимана, что ухудшит качество воды в нём и потребует дополнительного регулирования стока р. Днепр. Отсутствие долгосрочного плана природопользования в этом устьевом регионе затрудняет выработку конкретных рекомендаций для решения этих проблем с учётом его будущего хозяйственного освоения.

Анализ качества воды (Глава 4, с. 132–168) и её загрязнения (Глава 6, с. 287–290) показал, что, без разработки и реализации комплекса природоохранных мероприятий (с учётом сложившейся на фоне неудовлетворительного состояния природных сред хозяйственной деятельности), решить эколого-экономические проблемы региона затруднительно. Вышеуказанные негативные явления и процессы, в сочетании с повышением уровня моря и потеплением климата, могут привести к осолонению, ещё большему загрязнению Днепровско-Бугского лимана и потере его рыбопромыслового значения. Это вновь актуализирует вопрос о сохранении данного устьевого природно-антропогенного комплекса путём сооружения морезаградительной плотины в устье Днепровского лимана у г. Очакова и переброски части стока р. Дунай для повышения пресноводного ресурсного потенциала юга Украины. Затратность таких мероприятий огромна, а эффективность спорна, в связи с чем вряд ли они могут быть реально осуществлены в обозримом будущем.

Режим и качество воды, а также особенности природопользования в этом устьевом регионе могут измениться при долгосрочном перекрытии Северо-Крымского канала, по которому в Крым, в поливной сезон, поступало в среднем 210 м³/с днепровской воды [273]. Увеличение межженного стока р. Днепр у Каховской ГЭС может привести к распреснению Днепровско-Бугского лимана (в среднем на 0,4 ‰) и прилегающей части моря, увеличению стока ГЭБЦ и ХОП, дополнительному притоку эвтрофированной воды из каскада водохранилищ и размыву берегов, активизации затопления отдельных территорий. По приближённым оценкам, выполненным с помо-

щью зависимостей средней солёности воды Днепровско-Бугского лимана в разных его частях от расхода воды р. Днепр, аналогичных приведенным в **Главе 4**, с. 129, солёность здесь может уменьшиться в меженный период на 0,1–1,0 ‰. Для более достоверных оценок потребуются специальные исследования и расчёты.

7.1.3 Бельбекско-Чёрнореченский устьевой регион

В отличие от устьевых регионов крупных рек (Дунай и Днепр), где важную роль играли земледельческие, рыбохозяйственные, селитебные и природоохранные виды природопользования (рис. 7.2, 7.3), в Бельбекско-Чёрнореченском устьевом регионе (рис. 7.6) ведущее место занимало

Рисунок 7.6 – Особенности природопользования в Бельбекско-Чёрнореченском устьевом регионе

непроизводственное природопользование: жилищно-коммунальный комплекс г. Севастополя, базирование и функционирование военных формирований, наземный и водный транспорт. Здесь проявилась в полной мере конфликтность морехозяйственной деятельности с сохранением биопродуктивности акваторий [353].

Основной специализацией были судоремонт и приборостроение. Поэтому наиболее проблемными вопросами здесь являлись: обеспечение качественной водой населения и отраслей хозяйства, канализование, загрязнение окружающей среды [90].

Оценка водного баланса и использования водных ресурсов региона (**Глава 3**, с. 90–91) показала, что в средние по водности и многоводные годы водных ресурсов достаточно для обеспечения нужд населения. Но в маловодные периоды возникал дефицит пресной воды, иногда (в среднем 1 раз в 11 лет [208]) достигавший 30 млн. м³. Этому способствовали технические проблемы водообеспечения, потери, несанкционированный водоотбор [90; 210]. Главный источник пресной воды, Чёрнореченское водохранилище, постепенно заиляется и требует реконструкции. Загрязнение его воды (например, в период паводков) приводило к перебоям водоснабжения, а иногда и к его полному прекращению. Дополнительного накопителя пресной воды, которая могла бы использоваться в таких ситуациях, в г. Севастополе не создано, несмотря на имеющиеся

природные ресурсы. В то же время, вода р. Бельбек (бóльшей по водности, чем р. Чёрная), качество которой не ниже качества воды р. Чёрной, а по ряду параметров и выше [214; 230; 276], поступала в море и в регионе не использовалась. При этом во время значительных паводков выносилось 20–40 млн. м³ воды и затапливалась долина реки, пляжи, объекты рекреации и туризма, что наносило ущерб хозяйствующим субъектам и жителям, снижало рекреационный потенциал, усугубляло социально-экономическое и экологическое неблагополучие [200].

Площадь Севастопольской бухты была искусственно увеличена на 0,4 км² (Глава 6, с. 226–228), что повысило экономический и рекреационный потенциал региона [225]. Отсутствие современных природосберегающих технологий, аварийные и ливневые стоки в Севастопольскую бухту (рис. 6.35) – привели к её загрязнению [18; 121; 201; 203; 205; 206; 226; 230; 253; 339], особенно НУ (рис. 4.20) и ХОП (рис. 4.24). Рыбопромысловое значение бухты утрачено – она используется для транспорта и сброса (иногда несанкционированного) сточных вод, часто неочищенных. Планируемое, в связи с реконструкцией морского порта, углубление судового хода может привести к осолонению Инкерманского лимана и устьевое участка реки Чёрной.

Под рекреацию были приспособлены небольшие пляжи (в основном в бухте), зачастую «стихийные», и туристический комплекс в устье р. Бельбек (рис. 7.6). Для расширения рекреационного потенциала и застройки побережья в устьях рек осуществлялись: перепланировка, подсыпка и строительство в естественно затапливаемых поймах, спрямление, углубление, расчистка и обвалование русел. Для предотвращения затопления во время паводков вдоль русел рек Кача, Бельбек и Чёрная сооружались дамбы, эффективность которых вызывала сомнение, так как регулярно, при больших паводках, они разрушались. Кроме того, дамбы нарушали гидравлическую связь между руслом и поймой, что увеличивало подтопление застроенных территорий [200]. Застройка побережья часто осуществлялась с нарушением природоохранного законодательства [45; 275]. Но даже при его соблюдении, в морских устьях рек не гарантировано беспроблемное хозяйствование из-за активности экзогенных процессов [257], а затопление и подтопление долин рек Кача и Бельбек стало хроническим [198–200]. К тому же, законодательство [44; 45; 248; 250; 275] разработано только для рек, морей, озёр, болот и водохранилищ и не учитывает особенностей устьевых процессов и режима устьев [46], поэтому, формально, применение законов для этих географических объектов проблематично.

План мероприятий по рациональному использованию стока малых рек и подземных вод, улучшению водообеспечения г. Севастополя, охране и сохранению пресноводных ресурсов региона разработан на основе анализа современного режима и качества воды, оценки водного баланса и водных ресурсов региона [18; 90; 124; 127; 128; 198–201; 203; 206; 208; 210; 214; 221; 226; 230] и кратко изложен в табл. 7.3. Предварительные расчёты автора и математическое моделирование, выполненное совместно с Прусовым А.В., Ивановым В.А. [90; 124; 128; 210; 276], пока-

зали, что улучшению водообеспечения Севастопольского региона будет способствовать сооружение водохранилища в естественно-затапливаемой Камышловской балке (в бассейне р. Бельбек, рис. 7.7). Оно позволит восполнить дефицит пресной воды в объеме 10–30 млн. м³, возникав-

Таблица 7.3 – Особенности природопользования в Бельбекско-Чернореченском устьевом регионе, проблемы и решения

Отрасль хозяйства	Проблемы природопользования	Предлагаемые решения
жилищно-коммунальное хозяйство, базирование флотов, застройка побережий и естественно-затапливаемых пойм, забор песка и гальки, рекреация, туризм	дефицит водных ресурсов в маловодные периоды, сбросы недостаточно очищенных сточных вод, подтопление и затопление жилых массивов в поймах, ухудшение качества подземных вод, оползни, осыпи, обвалы, размыв и замусоривание русел	модернизация водозаборов, систем водоснабжения, очистки и канализования, сооружение резервного Камышловского водохранилища, берегоукрепляющие и противопаводковые мероприятия, запрет застройки естественно-затапливаемых и оползнеопасных территорий, увеличение ширины защитных полос, районирование территорий по степени ООЯ
наземный и водный транспорт	загрязнение воды и воздуха	контроль за соблюдением нормативов и штрафы
садоводство и овощеводство	безвозвратные изъятия, загрязнение среды, нерациональные потери водных ресурсов	внедрение прогрессивных технологий, мониторинг и штрафные санкции

ший в г. Севастополе в период межени и в маловодные годы, а также в случаях аварийных ситуаций на Чернореченском водохранилище, которое мелеет и периодически нуждается в реконструкции [363]. Расчёт наполнения и эксплуатации предлагаемого водохранилища, подробно изложенный в работе [276], выполнялся на основе решения уравнения водного баланса (7.1) по ежесуточным данным за многолетний период зарегулированного стока р. Бельбек:

$$V_{\text{кон.}}(t) = V_{\text{нач.}}(t) + V_1(t) + V_2(t) - V_3(t) - V_4(t) - V_5(t) - V_6(t) - V_7(t), \quad (7.1)$$

где (в м³) $V_{\text{нач.}}$, $V_{\text{кон.}}$ – объёмы водохранилища в начале и конце суток; V_1 – суточный объём переброски стока из р. Бельбек; V_2 – сумма осадков на зеркало водохранилища; V_3 – испарение с водной поверхности; V_4 – фильтрация воды через боковую поверхность водохранилища; V_5 – фильтрация воды через дно водохранилища; V_6 – сток р. Бельбек ниже водохранилища; V_7 – объём водозабора для нужд региона.

Математическое моделирование наполнения и эксплуатации Камышловского водохранилища выполнялось без учёта и с учётом гидроизоляции (рис. 7.7г). При этом рассчитывалось несколько вариантов высоты дамбы в районе Камышловского моста (устье балки), а сбросы в р. Бельбек минимизировались средним меженным стоком реки (учитывались также и аварийные

сбросы). В г. Севастополь (на гидроузел № 3) вода из Камышловского водохранилища может подаваться при достижении стока р. Чёрной среднего многолетнего значения или ниже, т.е. когда возникает угроза дефицита воды в Чернореченском водохранилище. Схема регулирования стока в предлагаемой модели поддается оперативному изменению. При высоте дамбы 70 м объём воды в Камышловском водохранилище будет равен объёму воды в Чернореченском водохранилище, а его испаряющая поверхность (площадь зеркала) будет в 3 раза меньше. Наименее затратным признан вариант, когда высота дамбы будет равна 20 м, гидроизоляция не производится, средний годовой объём водозабора из водохранилища составит 30 млн. м³/год, а фильтрации – 3,4 млн. м³/год. При применении гидроизоляции потери минимизируются.

Рисунок 7.7 – Резервирование паводочного стока р. Бельбек в Камышловской балке (а), вариант наполнения водохранилища (б), объёмы и периоды наполнения предлагаемого водохранилища в многоводный период (г) при разном уровне гидроизоляции бортов

Регулирование паводочного стока р. Бельбек Камышловским водохранилищем будет более эффективным противопаводковым мероприятием, чем сооружение, содержание и ремонт вдольрусловых защитных дамб, и позволит решить в комплексе две региональные проблемы –

прекратится затопление застроенной поймы в низовьях реки и растущий город федерального значения Севастополь получит резерв пресной воды [200].

Кроме того, пути совершенствования водообеспечения г. Севастополя связаны с решением ряда технических и организационных задач, касающихся реконструкции систем водоснабжения, очистки вод и канализования, их модернизации, так как в настоящее время потери в этих системах близки к указанному дефициту пресной воды (**Глава 3**, табл. 3.3, с. 91; [233]). Улучшит водообеспечение города реконструкция подземных водозаборов, гидроузлов, инвентаризация скважин.

Для улучшения состояния окружающей природной среды, включая Севастопольскую бухту, важно: сохранение и восстановление зелёных насаждений, особенно в долинах рек (в настоящее время они вырубаются в долине р. Чёрной в месте планируемого строительства берегозащитных дамб), естественной растительности; тампонаж скважин, выведенных из эксплуатации; корректирование паспортов поверхностных и подземных водозаборов; уточнение ширины прибрежных защитных полос (с учётом устьевых процессов) и установление в них водоохранного режима; строительство и реконструкция системы канализования и очистки стоков, включая ливневые; прекращение их сбросов в Севастопольскую бухту; реконструкция Чернореченского водохранилища [90; 198; 199; 339].

Выполненный анализ химического состава воды рек Бельбек, Чёрная и Кача и природопользования на их побережьях показал, что качество речной воды можно улучшить, усилив контроль за соблюдением природоохранного законодательства [214; 226], запретив застройку естественно-затапливаемых пойм, выполнив реконструкцию и строительство централизованной системы водоснабжения и канализования сельских населённых пунктов, расположенных в речных бассейнах, особенно в Байдарской долине и на притоках р. Чёрной [46], а также в долине р. Бельбек (например, канализация с. Дальнее сбрасывается без очистки в р. Бельбек в 7 км от устья). Ухудшает качество воды и обработка садов, расположенных в водоохранной зоне р. Бельбек, пестицидами и агрохимикатами.

Приоритетной задачей усовершенствования природопользования в Бельбекско-Чернореченском устьевом регионе является поиск и оптимальное использование местных источников водоснабжения, так как зависимость от внешних источников (подачи воды из Межгорного водохранилища, наполняемого ранее днепровской водой, Вилино-Песчанского водозабора) экономически невыгодна.

Эксплуатация водозаборов подземных и артезианских вод (особенно сверхнормативная) уже привела к повышению их минерализации (по ряду ингредиентов вода Орловского, Бельбекского и Инкерманского водозаборов уже не соответствует государственным стандартам по сани-

тарно-химическим показателям для питьевого водоснабжения), и в будущем возможно дальнейшее засоление подземных вод [18], увеличение их жёсткости и содержания в них биогенных веществ, тяжёлых металлов и др. Следовательно, важным шагом по улучшению водообеспечения является аккумуляция поверхностных паводочных вод рек региона, не используемых в настоящее время [126; 230]. При этом к предлагаемым проектам решения проблемы дефицита воды надо подходить критически. Например, сооружение каскада водохранилищ на р. Чёрной не является экономически и экологически обоснованным [276], так как её сток уже максимально зарегулирован. Сооружение водохранилища, объёмом 11,6 млн. м³, в верховьях р. Бельбек (на р. Коккозке) уменьшит её сток в низовьях, что сделает нерациональным его резервирование на территории Севастопольского региона. Планируемая межбассейновая переброска воды из буферного в Чернореченское водохранилище, может быть, позволит его пополнить, но не создаст резерва воды для г. Севастополя в случае чрезвычайных ситуаций, например, загрязнения (как в 2006 г.), аварии или его заилиения. К тому же, предлагаемое этим проектом решение проблемы водообеспечения г. Севастополя предусматривает не только строительство сооружений в сложных экзогенных условиях на территории заказников, но и прокладку водоводов длиной 9–68 км. Использование в качестве резервного водохранилища обводнённого карьера у горы Гасфорта (как предлагалось ранее) также проблематично.

Раздельное техническое и питьевое водоснабжение, внедрение в аграрной практике прогрессивных норм и способов полива – могли бы способствовать снижению дефицита водных ресурсов и улучшению водообеспечения г. Севастополя. Однако на современном уровне развития водного хозяйства Севастополя осуществить раздельное водоснабжение невозможно.

Предполагаемые мероприятия по углублению акватории «Морского многофункционального порта Инкерман» потребуют детального изучения процессов проникновения солёной воды на устьевой участок р. Чёрной, а также процессов взаимодействия пресной и солёной воды в этом устье. Такие исследования сейчас организованы и проводятся в МГИ РАН.

Отдельные проблемы нерационального природопользования в рассматриваемых устьевых регионах уже решаются (например, сооружён канал в рук. Быстром), и рекомендации содержат подтверждение их целесообразности или недостаточности, а часть – предстоит решить в будущем. Предложения по усовершенствованию использования природных ресурсов в устьевых регионах предусмотреть все особенности природопользования и его последствий в полной мере пока не могут. Тем не менее, результаты выполненной работы дают основание полагать, что конкретные водохозяйственные мероприятия, которые уже осуществляются или могут быть осуществлены в перспективе, способны улучшить экологические и социально-экономические условия жизни в устьевых регионах северо-западной части Чёрного моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фрагментарная изученность отдельных частей морских устьев рек (МУР) и некоторых аспектов их состояния, характерная для предшествующих исследований в различных регионах мира, не давала полного представления о морских устьях рек как отдельных географических объектах и природно-антропогенных системах. Их морские границы и размеры не были установлены, что препятствовало включению МУР в качестве объектов природопользования и водных отношений в законодательства приморских государств. Применение междисциплинарного подхода в комплексном исследовании разнотипных устьев рек, при наличии достаточного массива неэквидистантных данных наблюдений, в условиях нестационарности устьевых процессов и нестабильной антропогенной нагрузки, апробирован для разнотипных устьев рек северо-западной части Чёрного моря (СЗЧМ). Это дало возможность получить новые результаты, расширяющие диапазон знаний в области океанологии устьев рек. Применение апробированной на МУР СЗЧМ стратегии исследований будет способствовать повышению эффективности изучения аналогичных устьев рек в других регионах мира.

Для систематизации исследований устьев рек традиционно использовали различные способы типизации МУР, иногда противоречивые, как и само определение «устьевой области реки», даваемое различными авторами. Разработанная структурно-гидрологическая типизация МУР по сложности их строения позволила: усовершенствовать районирование; выделить дельту, необоснованно включаемую в устьевую участок реки, в отдельный структурный компонент; систематизировать 42 разнотипных устья рек северного Причерноморья и ограничить исследование двухкомпонентными устьями рек Бельбек и Чёрная и трёхкомпонентными устьем р. Дунай и устьевым комплексом рек Днепр, Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Березань и Сосик. Системный подход при типизации и районировании устьев потребовал усовершенствования и расширения терминологии, традиционно использовавшейся в океанографии МУР, но не редактировавшейся последние 45 лет (действующие с 1973 г. ГОСТы устарели), что может служить основой для стандартизации научной терминологии в будущем.

Морские устья 9 малых, средних и больших рек СЗЧМ впервые рассмотрены от речных до морских границ включительно, в концептуальном единстве представлений смежных дисциплин о взаимосвязанных устьевых природных и антропогенных компонентах, характеристиках режима и качества воды, явлениях и процессах.

Комплексный анализ рядов наблюдений сетевых подразделений Гидрометеослужбы СССР (1961–1990 гг.), Украины (1991–2012 гг.) и России (2013–2019 гг.), других организаций и ведомств, интеграция географических, экологических, социально-экономических знаний, использование статистического, балансового методов и математического моделирования, позволи-

ли получить современную характеристику морских устьях рек Дунай, Днепр, Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Березань и Сосик, Бельбек и Чёрная, а также предложить пути решения общих и специфических проблем природопользования в 3-х устьевых регионах северо-западной части Чёрного моря.

Неопределенность внешних границ не только не позволяла установить размеры устьев, но и выполнить их идентификацию в географической классификации, выделить морское устье реки как таксономическую природно-географическую единицу, выполнить в её пределах объективное физико-географическое районирование, решить ряд правовых и хозяйственно-административных вопросов. Предложено определять морскую границу устьев рек по распределению среднего многолетнего коэффициента вариации солёности воды (C_v). По этому же распределению определялись размеры устьевых взморьев и морских устьев рек в целом, для чего они ограничивались изогалинами, с минимальными значениями C_v .

Установлено, что основными факторами, обуславливающими размеры, состояние устьев, а также явления и процессы, являются их строение и сток рек. При этом геоморфологические особенности устьев мало изменчивы во времени, а сток (носитель массы, энергии и веществ) – подвержен природным и антропогенным изменениям. Именно речной сток является приходной балансовой составляющей, природно-антропогенным фактором, оказывающим существенное влияние на малоизученные характеристики устьевых процессов и явлений, формирование устьев, распределение параметров среды. По стоку можно реконструировать прошлое, понять настоящее и прогнозировать будущее морских устьев рек. Поэтому единый методологический подход для решения ряда научных и практических задач видится в выяснении роли стока в формировании режима и качества воды МУР в различных диапазонах изменчивости характеристик.

Независимо от типов устьевых взморьев и водоносности рек, их средний за многолетний период годовой сток оказывал наибольшее воздействие на объёмы устьевых взморьев (включающие области адвекции речного стока, распреснения и гидрофронта), в среднем составлявшие около 10–11 % от его величины. Следовательно, для приближённой оценки объёма зоны воздействия рек на малоизученные устьевые взморья можно руководствоваться полученным выводом.

Зависимость межгодовой и сезонной изменчивости уровня, солёности, концентрации веществ и составляющих обмена через проливы от стока рек, а синоптической и суточной – от колебаний уровня воды взморья имеет значение для разработки расчётных и прогнозных методов, моделирования явлений и процессов. По данным самописцев уровня воды, многосерийных и учащённых наблюдений на станциях устьевых взморьев рек, из короткопериодных колебаний параметров режима доминировали полусуточные и суточные, имеющие общую волновую природу и общие закономерности изменения уровня, течений и солёности воды, а также обменных процессов через проливы.

Для анализа внутрисистемных связей использовался интервальный подход: находились условия, при которых установленные связи и закономерности были значимыми (имели коэффициенты корреляции или корреляционные отношения 0,75–1,00). Так получены зависимости аббиотических компонентов устьевых экосистем от основных влияющих факторов, в особенности, от стока рек, что позволяет, в ряде случаев, применять его в качестве предиктора; предложены формулы для приближённых оценок площадей морских устьев рек в зависимости от стока; модулей стока фосфатов, нефтяных углеводородов и детергентов от площадей речных водосборов. При исследовании малоизученных устьев рек по ним можно давать ориентировочные оценки. Зависимости солёности и мутности воды от стока рек могут быть использованы для прогноза изменения этих характеристик при изменении водоносности рек. Связи между стоком загрязняющих веществ, тепла и воды приемлемы для восполнения пропусков в наблюдениях и разработки прогнозов. Обусловленность характеристик ледового режима стоком тепла рек свидетельствует о существенной роли адвективной составляющей и позволяет прогнозировать их изменения по стоку воды и тепла рек.

Предложенные методики: определения морских границ и размеров устьев рек, структурных компонентов зоны взаимодействия разнородных вод по распределению C_v солёности; составляющих обмена через Кинбурнский пролив по натурным данным; интрузии галоклина в устья рек Днепр, Юж. Буг и Чёрная по расходу воды; стока загрязняющих веществ, с суточной и более дискретностью (при недостатке сведений о концентрации ингредиентов) по стоку воды могут применяться для аналогичных оценок в микроприливных прибрежных регионах Мирового океана. На их основе выполнены количественные оценки влияния стока рек на устьевые взморья, дальности проникновения галоклина, адвективных составляющих баланса воды, тепла и веществ, предварительные качественные оценки возможных изменений состояния МУР СЗЧМ, с учётом отмеченных тенденций. Измеренные и рассчитанные величины имели удовлетворительную сходимость, что подтверждает достоверность полученных результатов.

Так как ряды концентрации биогенных и загрязняющих веществ не подчиняются нормальному закону распределения и статистические оценки, разработанные для расчёта выноса веществ в море на основе средних арифметических значений, дают существенные погрешности, предложен новый способ расчёта выноса растворённых веществ по медиане концентрации и повторяемости обнаружения ингредиента в пробах воды. Апробация метода, выполненная для рассматриваемых устьев и МУР Азовского моря, свидетельствует о его применимости и достоверности полученных по нему оценок.

Разработанный каталог опасных и особо опасных явлений в морских устьях рек имеет практическое значение, так как актуальность их мониторинга возрастает в связи с изменением климата и уровня антропогенной нагрузки на побережья. Предложенную концепцию комплекс-

ных природных и природно-антропогенных явлений, экстремального ухудшения качества воды в морских устьях рек, наносящих наибольший вред биотической составляющей их экосистем и экономике устьевых регионов, можно использовать для разработки и совершенствования обобщённых критериальных оценок качества воды, планирования мероприятий по предотвращению, прогнозированию и минимизации ущербов от негативных явлений и процессов.

Для организации мониторинга явлений, вызывающих экстремальные изменения среды, их предотвращения и прогнозирования, выделены зоны экологических рисков и рассчитана повторяемость потенциальной экологической опасности в устьях больших рек, которая обусловлена неблагоприятной для стеногалинных гидробионтов солёностью воды; выполнен анализ заморов в устьях рек и их причин, определены замороопасные периоды и участки; даны количественные оценки некоторых опасных и особо опасных гидрометеорологических и гидрохимических явлений.

Сформулирована гипотеза о палеоморфологии рек СЗЧМ, предложена их новая идентификация и на её основе выполнена реконструкция устьев на период V–IV вв. до н.э. Предложено районирование побережий по преобладающим процессам и факторам влияния. На основе анализа современного и прошлого состояния устьев рек северного Причерноморья, показано, что 5 % из них трансформировалось в другие водные объекты – озёра и болота. Причиной этого было истощение водных ресурсов и превалирование морских факторов над речными. Следовательно, при идентичных условиях морские устья рек могут, минуя стадию формирования дельты выдвижения, перейти в озёрную и болотную стадии развития. Этот вывод может служить основой для дальнейшего развития теории эволюции морских устьев рек и количественных оценок изменений геоморфологических характеристик при возможных изменениях водного режима устьеобразующих рек.

Для оценки характеристик обменных процессов предложены формулы, позволяющие рассчитывать составляющие водообмена через двумерный пролив по интенсивности изменения уровня воды в вершине устьевого взморья с дискретностью 1 час и более. Они применимы для восстановления пропусков в наблюдениях, прогнозных оценок, расчёта обмена теплом, растворёнными и взвешенными веществами.

На основе структуризации зоны взаимодействия речных и морских вод по распределению C_v солёности воды определены объёмы областей, с преобладающими в них процессами (адвекции, смешения, фронтогенеза, диффузии), а также предложен способ их определения в зависимости от стока реки (на примере Днепровско-Бугского лимана). Это позволит учитывать пространственную неоднородность процессов взаимодействия речных и морских вод при их моделировании в устьях рек.

Новые результаты по исследованию причин, частоты и дальности проникновения галоклина при различном стоке рек имеют практическое значение для организации и эксплуатации водозаборов. Установлено, что длина галоклина, поступавшего на устьевые участки рек, связана с речным стоком и денивеляцией уровня устьевого взморья.

На основе анализа процессов загрязнения природной среды устьев рек выполнена дифференциация проблем природопользования в устьевых регионах. В качестве индикатора для сравнения загрязнённости воды получено распределение индекса загрязнения воды (*ИЗВ*), а для интегральной характеристики интенсивности процессов самоочищения под влиянием комплекса абиотических и биотических факторов предложено использовать индекс трансформации веществ (*ИТВ*). Наиболее загрязнёнными частями устьев оказались их устьевые взморья.

Комплексное исследование состояния морских устьев рек, опасных явлений и процессов, особенностей и негативных последствий хозяйственной деятельности, её тенденций и рисков, позволило выделить в северо-западной части Чёрного моря три природно-антропогенных устьевых региона (на которых апробирована стратегия междисциплинарных исследований) – Дунайский, Днепро-Бугский и Бельбекско-Чернореченский, а также сформулировать актуальные проблемы природопользования и предложить пути их решения.

Похожие проблемы природопользования (дефицит пресной воды и загрязнение природной среды) характерны для всех морских устьев рек Чёрного и Азовского морей, а также других морей с аналогичными природными условиями. Поэтому универсальные решения видятся в модернизации аграрных и промышленных технологий, системы водоснабжения, очистки и канализования, учёте и контроле источников поверхностных и подземных вод. Это возможно при создании и функционировании устьевых региональных центров природопользования и мониторинга, способных осуществлять эффективный менеджмент по использованию ресурсов, разрабатывать методологию и стратегию междисциплинарных исследований, планировать и координировать работы, контролировать, совершенствовать законодательную базу для сохранения природы морских устьев рек и предотвращения затрат хозяйствующих субъектов на ликвидацию последствий природных и природно-техногенных катастроф.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

1 Структура и границы морского устья реки

1.1 морское устье реки: Комплексный географический объект, включающий естественные и искусственные водотоки, водоёмы и особые водные объекты, специфический рельеф и ландшафт, формирующийся при впадении реки в море под влиянием природных и антропогенных факторов.

1.2 верхняя граница морского устья реки: Речная граница распространения устьевых процессов, совпадающая с верхней границей устьевых участков реки или дельты.

1.3 нижняя граница морского устья реки: Мористая граница распространения устьевых процессов, совпадающая с нижней границей устьевых участков реки.

1.4 устьевой участок реки: Участок от верхней границы морского устья реки до верхней границы дельты или до нижней границы устьевых участков реки (при отсутствии дельты), на котором проявляются устьевые процессы.

1.5 простой устьевой участок реки: Устьевой участок реки, с чётко выраженными границами, естественным бесприточным основным руслом, с постоянным стоком в нём.

1.6 сложный устьевой участок реки: Устьевой участок реки, с невыраженными границами, антропогенными изменениями, сложной гидрографической сетью, постоянным или временным стоком.

1.7 нижняя граница устьевых участков реки: Граница раздела между устьевым участком реки и устьевым взморьем, совпадающая с его верхней границей (при наличии дельты совпадает с её верхней границей).

1.8 дельта: Часть морского устья реки, образованная полиморфными осадками различного генезиса в процессе дельтообразования, в пределах которой происходит деление основного водотока на рукава и формируется специфическая гидрографическая сеть и ландшафт.

1.9 дельта заполнения: Дельта, сформированная на закрытом устьевом взморье при преобладании речных факторов.

1.10 дельта выдвижения: Дельта, сформированная на открытом устьевом взморье под влиянием речных и морских факторов.

1.11 дельта наложения: Дельта, сформированная на поверхности существующей дельты в условиях преобладания речных факторов.

1.12 верхняя граница дельты: Место отделения от основного водотока (или главного рукава) первого устьевых рукава.

1.13 нижняя граница дельты: Граница раздела между дельтой и устьевым взморьем, проходящая по контуру берега между устьями рукавов, совпадающая с верхней границей устье-

вого взморья.

1.14 устьевое взморье: Часть морского устья реки, от нижней границы дельты или нижней границы устьевых участков реки до нижней границы морского устья реки, в которой проявляется влияние речного стока.

1.15 простое устьевое взморье: Устьевое взморье, включающее частично или полностью один приёмный водоём.

1.16 сложное устьевое взморье: Устьевое взморье, включающее более одного приёмного водоёма.

2 Гидрографическая сеть морского устья реки

2.1 гидрографическая сеть морского устья реки: Совокупность естественных и искусственных, постоянных и временных водотоков, водоёмов и особых водных объектов (плавни, родники, проливы и др.) в пределах морского устья реки.

2.2 русловая сеть морского устья реки: Совокупность русел водотоков в пределах морского устья реки.

2.3 устьевой водоток: Элемент русловой сети морского устья реки естественного или искусственного происхождения, характеризующийся движением воды в любом направлении.

2.4 основной водоток (основное русло): Устьевой водоток, являющийся естественным продолжением реки, имеющий речное морфологическое строение русла, по которому осуществляется основной сток.

2.5 устьевой рукав: Ответвление русла устьевых водотоков, имеющее речное морфологическое строение, по которому осуществляется транзит части стока основного водотока или главного рукава.

2.6 главный рукав: Рукав, от которого ответвляются другие рукава, несущие части его стока.

2.7 протока (проток): Устьевой водоток, без речных русловых образований, ответвляющийся от рукава или основного русла и впадающий в них же или другие водные объекты.

2.8 ерик: Небольшой узкий внутридельтовый, пойменный или островной проток, соединяющий устьевые водотоки или устьевые водоёмы с водоёмами.

2.9 узел разветвления водотоков: Элемент русловой сети морского устья реки, характеризующийся разветвлением одного устьевых водотоков на два и более.

2.10 узел соединения водотоков: Элемент русловой сети морского устья реки, характеризующийся соединением двух и более устьевых водотоков в один.

2.11 устье водотока (устье рукава): Створ, где устьевой водоток впадает в водный объект; растекается по поверхности суши; инфильтруется; дренируется; отмечается прекращение стока.

2.12 бороздина ^{*)}: Подводное русло потока на устьевом взморье.

2.13 устьевой водоём: Элемент гидрографической сети морского устья реки, характеризующийся скоплением воды в естественных или искусственных понижениях суши.

2.14 приёмный водоём: Устьевой водоём (или часть моря), в который непосредственно впадают устьевые водотоки.

2.15 открытый приёмный водоём (открытое устьевое взморье): Приёмный водоём, имеющий свободный обмен с прилегающей акваторией по всему периметру.

2.16 закрытый приёмный водоём (закрытое устьевое взморье): Приёмный водоём, ограниченный по периметру береговой чертой и имеющий обмен с прилегающей к нему акваторией через устьевой пролив (гирло).

2.17 устьевой пролив (гирло): Сужение устьевского водоёма в месте соединения с прилегающей акваторией, составная часть устьевского взморья.

2.18 приглубый приёмный водоём (приглубое устьевое взморье): Приёмный водоём, глубина которого в несколько раз больше глубины впадающего в него водотока.

2.19 отмелый приёмный водоём (отмелое устьевое взморье): Приёмный водоём, глубина которого соизмерима с глубиной впадающего в него водотока.

2.20 залив: Вдающаяся в сушу не отчленённая или слабо отчленённая часть водоёма, имеющая с ним свободный водообмен и сходный режим.

2.21 бухта: Вдающаяся в сушу часть водоёма, имеющая с ним водообмен через пролив, обладающая специфическим режимом закрытого устьевского водоёма.

2.22 лагуна: Малопроточный закрытый устьевой водоём с намывными берегами, вытянутый вдоль побережья, отделённый от смежного водного объекта пересыпью, косами, устьевым баром или волноприбойным валом.

2.23 лиман: Проточный закрытый устьевой водоём, вытянутый поперек побережья, сформированный в затопленном устье речной долины при незначительных приливно-отливных течениях, отделенный косами и мысами от смежного водоёма.

2.24 риа: Глубоко вдающаяся в сушу бухта, представляющая собой затопленную морем эрозионную речную долину, сложенную остаточными массивами.

2.25 эстуарий: Воронкообразный, вытянутый поперёк побережья, закрытый приёмный водоём, сформированный под влиянием приливно-отливных течений в затопленном устье речной долины.

2.26 фиорд: Затопленная морем долина реки, с высокими коренными берегами, эрозионно-тектонического происхождения, приглубый устьевой водоём закрытого типа, близкий к эстуарию.

2.27 лимано-лагуна: Устьевой приёмный водоём закрытого типа, сочетающий свойства лимана (вершинная часть) и лагуны (устьевая часть).

2.28 устьевое озеро: Замкнутый по периметру естественный водоём, элемент гидрографической сети морского устья реки, различного происхождения, минерализации и проточности, а также конечная стадия развития некоторых морских устьев.

2.29 лагуно-озеро: Устьевое озеро, лагунного типа, образовавшееся после естественного или искусственного отчленения лагуны от моря.

2.30 лимано-озеро: Устьевое озеро, лиманного типа, образовавшееся после естественного или искусственного отчленения лимана от моря.

2.31 марш (осушка): Эпизодически затапливаемый, зарастаемый участок побережья устьевое взморья в виде узкой полосы, поздняя стадия развития лагуны.

2.32 плавни: Затопленные или заболоченные большую часть года, заросшие пойменные территории, с травяными болотами и старицами.

2.33 болото: Переувлажнённые участки поверхности суши и почво-грунтов, а также водные объекты в стадии угасания, характеризующиеся слабой проточностью, водолюбивой растительностью и процессами торфообразования.

2.34 источник: Постоянный или временный особый нерусловой водный объект, образующийся при естественном выходе подземных вод на поверхность суши или в водный объект.

2.35 старица (староречье): Остаточный пойменный водоём, образовавшийся из отчленившегося от русловой сети ранее существовавшего участка водотока.

2.36 ветланды: Общее название водно-болотных угодий, любого генезиса и минерализации воды.

3 Морфологические элементы морских устьев рек

3.1 устьевые образования: Русловые и нерусловые, подвижные и неподвижные скопления наносов различного генезиса и продуктов разрушения суши в морском устье реки.

3.2 русло водотока (коренное): Выработанное потоком ложе, по которому осуществляется сток без затопления поймы.

3.3 пойма: Периодически затапливаемая часть ложа долины устьевое участка реки, сложенная наносами, ограниченная прирусловыми валами (бровками русла) и склонами долины.

3.3 побочень: Обсыхающая в межень прибрежная гребневая часть ленточной гряды, пересекающей русло водотока.

3.4 устьевая яма: Эрозионная форма рельефа дна, обусловленная размывом русла устьевого водотока или ложа устьевого водоёма.

3.5 прирусловой вал: Отложения наносов и грунта вдоль русел водотоков, обусловленные взаимодействием потока и русла, а также искусственные защитные сооружения для предотвращения затопления поймы.

3.6 излучина (меандр): Изгиб устьевого водотока или узкого удлинённого водоёма, ограниченный смежными точками перегиба осевой линии.

3.7 свал глубин: Подводный склон, характеризующийся резким увеличением уклона дна и глубины водного объекта.

3.8 устьевой бар: Аккумулятивные образования на устьевом взморье реки в форме осерёдков, гряд или валов, отчленённых от берегов.

3.9 устьевая коса: Свободное аккумулятивное образование различного генезиса и состава, примыкающее корневой частью к берегу.

3.10 конус выноса: Подводная часть аккумулятивного образования в приёмном водоёме, в форме слабовыпуклого полуконуса, вершина которого примыкает к устью водотока, а надводная часть представляет собой дельту.

4 Режим и районирование морских устьев рек

4.1 уровень воды: Отклонение поверхности воды в водном объекте морского устья реки от постоянной плоскости сравнения, называемой нулём графика гидрологического поста.

4.2 абсолютная составляющая уровня воды: Составляющая уровня воды, обусловленная изменением количества воды в водном объекте морского устья реки.

4.3 относительная составляющая уровня воды: Составляющая уровня воды, обусловленная перекосом водной поверхности под воздействием различных сил.

4.4 стоковая составляющая уровня воды: Составляющая уровня воды, обусловленная стоком воды.

4.5 сгонно-нагонная составляющая уровня воды: Составляющая уровня воды, обусловленная сгонами и нагонами.

4.6 приливо-отливная составляющая уровня воды: Составляющая уровня воды, обусловленная приливами и отливами.

4.7 сток воды: Объём воды, проходящий через поперечное сечение устья в перпендикулярном ему направлении за какой-либо промежуток времени. Сток воды за секунду называется расходом воды.

4.8 сток тепла: Количество тепла, переносимое за какой-либо промежуток времени через поперечное сечение устья в перпендикулярном ему направлении. Сток тепла за секунду называется расходом тепла.

4.9 сток вещества: Количество растворённого или взвешенного вещества, переносимое за какой-либо промежуток времени через поперечное сечение устья в перпендикулярном ему направлении. Сток вещества за секунду называется расходом вещества.

4.10 регулирование стока: Естественное или искусственное перераспределение стока во времени путём уменьшения его максимальных и увеличения минимальных значений.

4.11 внутригодовое распределение стока воды: Долевое (или процентное) отношение стока отдельных периодов года к величине стока за гидрологический год.

4.12 распределение стока (расхода) по рукавам: Деление объёма воды (тепла или вещества) на части в узле разветвления водотоков или сложение объёмов воды (тепла или вещества) в узле соединения водотоков.

4.13 приливный расход воды: Расход воды, поступающий из моря в морское устье реки в любой момент прилива.

4.14 отливный расход воды: Расход воды, поступающий из морского устья реки в море в любой момент отлива.

4.15 средний приливный расход воды: Объём воды, поступившей из моря в морское устье реки во время прилива, делённый на продолжительность прилива.

4.16 средний отливный расход воды: Объём воды, поступившей из морского устья реки в море во время отлива, делённый на продолжительность отлива.

4.17 результирующий расход за приливо-отливный цикл: Результат алгебраического суммирования среднего приливного и среднего отливного расходов воды.

4.18 кривая местного прилива: Хронологический график колебания уровня воды в любом створе приливо-отливной зоны.

4.19 мгновенный профиль прилива (отлива): Продольный профиль поверхности воды в приливо-отливной зоне в определённый момент прилива (отлива).

4.20 геометрическое место полных вод (ГМПВ): Линия, соединяющая отметки максимальных уровней прилива, независимо от момента их наступления.

4.21 геометрическое место малых вод (ГММВ): Линия, соединяющая отметки минимальных уровней отлива, независимо от момента их наступления.

4.22 бор (накат, поророка, маскарэ): Водяной вал, образующийся при приливах в устьевых водотоках некоторых рек.

4.23 время добегания: Время, за которое водная масса, расход или уровень воды будут наблюдаться на определённом расстоянии от начального створа.

4.24 неоднородное течение: Совокупность локальных течений различного генезиса в морском устье реки.

4.25 суммарное течение: Локальное течение, формирующееся при комплексном воздействии различных факторов.

4.26 стоковое течение: Направленное в сторону приёмного водоёма течение, обусловленное стоком реки.

4.27 бризовое течение: Периодическое течение на устьевом взморье, обусловленное бризами.

4.28 преобладающее течение: Наиболее часто повторяющиеся направление и местная скорость течения.

4.29 обратное течение: Течение различного генезиса, направленное от приёмного водоёма к вершине морского устья реки.

4.30 прямой поток: Поток воды, тепла или вещества в любом створе морского устья реки, направленный от реки к морю.

4.31 обратный поток: Поток воды, тепла или вещества в любом створе морского устья реки, направленный от моря к реке.

4.32 разнонаправленный поток: Поток воды, тепла или вещества в любом створе морского устья реки, состоящий из потоков прямого и обратного направления.

4.33 результирующий поток: Результат алгебраического суммирования прямого и обратного потоков, выражающийся в тех же единицах и имеющий направление (и знак) большей составляющей.

4.34 область транзита: Часть морского устья реки, которую речные воды проходят транзитным потоком, зона адвекции речных вод.

4.35 область трансформации, смешения: Часть морского устья реки, где происходит изменение физико-химических и биологических характеристик речной и морской воды.

4.36 нагонная часть морского устья реки: Часть морского устья реки, в пределах которой отмечаются нагонные колебания уровня воды.

4.37 приливо-отливная зона: Часть морского устья реки, в пределах которой отмечаются приливо-отливные колебания уровня воды.

4.38 участок с обратным течением: Часть морского устья реки, в которой отмечаются обратные течения.

4.39 область осолонения: Пресноводная часть морского устья реки, куда проникает солёная вода.

4.40 область распреснения: Солоноводная часть морского устья реки, куда распространяются речные воды и где происходит формирование распреснённых вод.

5 Устьевые процессы и явления

5.1 перераспределение стока (расхода) по рукавам: Процесс изменения распределения стока по рукавам под влиянием природных и антропогенных факторов.

5.2 устьевое удлинение: Обусловленное природными и антропогенными причинами выдвижение русла водотока в приёмный водоём в результате отложения и переотложения наносов.

5.3 дельтообразование: Процесс отложения и переотложения наносов и материала разрушения суши, формирующий рельеф морского устья реки и его гидрографическую сеть.

5.4 смешение речных и морских вод: Гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические процессы формирования водной среды морского устья реки в результате взаимодействия разнородных вод.

5.5 устьевой фронтогенез: Образование контрастной зоны раздела между разнородными водными массами в морском устье реки.

5.6 проникновение солёной воды: Процесс поступления солёной воды моря или осолонённой воды устьевого взморья в водные объекты морского устья реки.

5.7 неподвижный лёд: Сплошной или несплошной ледяной покров на поверхности водного объекта (ледостав или припай).

5.8 плавучий (дрейфующий) лёд: Ледяные образования различной номенклатуры, перемещающиеся под действием течения и (или) ветра.

5.9 дрейф льда (ледоход): Горизонтальное перемещение льда под действием течения и (или) ветра

5.10 торошение льда: Нагромождение льда под воздействием природных и антропогенных факторов с последующим смерзанием ледяных образований.

5.11 адвективный обмен: Перенос воды, тепла или вещества разнонаправленными потоками через границу раздела между компонентами морского устья реки или пограничными с ним объектами за определенный период.

5.12 температурный бар: Зона раздела между водными массами с различной теплоактивностью, имеющая температуру наибольшей плотности и характеризующаяся конвергенцией вод.

5.13 сгонно-нагонные явления: Возникающая под действием ветра циркуляция вод, сопровождающаяся деформацией водной поверхности.

5.14 подпор: Повышение уровня воды, обусловленное увеличением сопротивления движению потока или препятствиями различного происхождения.

5.15 затопление территории: Постоянное или временное, природное или антропогенное покрытие территории поверхностными водами.

5.16 подтопление территории: Подъём или выход на поверхность подземных вод, отмечающийся постоянно или периодически и обусловленный различными причинами.

5.17 опасное гидрологическое явление (ОГЯ): Гидрологическое явление, которое, при отсутствии защитных мер, может нанести ущерб природе, хозяйству или человеку.

5.18 особо опасное гидрологическое явление (ООГЯ): Опасное гидрологическое явление, достигшее такой стадии развития, на которой среде, хозяйству или человеку наносится определённый ущерб.

5.19 катастрофическое гидрологическое явление (КГЯ): Особо опасное гидрологическое явление, влекущее существенный материальный ущерб и человеческие жертвы.

5.20 комплексные явления: Совокупность явлений, имеющих разную степень опасности и обусловленных различными причинами.

5.21 опасное гидрохимическое явление (ОГХЯ): Загрязнённость природной среды, обусловленная воздействием естественных или антропогенных факторов, приводящая к сверхнормативному ухудшению качества воды.

5.22 особо опасное гидрохимическое явление (ООГХЯ): опасное гидрохимическое явление, при котором экстремальное ухудшение качества воды наносит определённый ущерб среде, хозяйству и человеку.

5.23 опасное экологическое явление (ОЭЯ): Явление, которое может привести к гибели гидробионтов и нанести ущерб природной среде, хозяйству или человеку.

5.24 особо опасное экологическое явление (ООЭЯ): Явление, приводящее к гибели гидробионтов, деградации водной экосистемы и наносящее определённый ущерб природной среде, хозяйству или человеку.

5.25 экстремальное ухудшение качества воды (ЭУКВ): Экстремальное изменение химического, биологического состава, физических свойств воды, делающее её непригодной для конкретных видов водопользования.

Примечание – *) – Термин полностью соответствует ГОСТу 18458-73 [72].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеноров, В.К. О методе и возможностях исследования пространственно-временной изменчивости температуры и солёности вод открытого океана / В.К. Агеноров // Труды Государственного океанографического института. – 1968. – Вып. 95. – С. 104–123.
2. Айбулатов, Н.А. Особенности гидрофизического самоочищения российской прибрежной зоны Черного моря близ устьев рек / Н.А. Айбулатов, П.О. Завьялов, В.В. Пелевин // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2008. – № 4. – С. 301–310.
3. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: коллективная монография / под ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко. – Одесса: ТЭС, 2011. – 224 с.
4. Алексеев, Г.А. Методы оценки случайных погрешностей гидрометеорологической информации / Г.А. Алексеев. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 95 с.
5. Алексеев, Д.В. Математическое моделирование ветрового волнения в Севастопольской бухте / Д.В. Алексеев, В.В. Фомин, Е.В. Иванча [и др.] // Морской гидрофизический журнал. – 2012. – Вып. 1. – С. 75–84.
6. Алексеев, Д.В. Исследование характеристик ветрового волнения в прибрежной зоне Черного моря от Одессы до устья Днепра при различных ветровых условиях / Д.В. Алексеев // Доповіді Національної академії наук України. – 2014. – № 1. – С. 90–96.
7. Алёкин, О.А. Сток растворённых веществ с территории СССР / О.А. Алёкин, Л.В. Бражникова. – М.: Наука, 1964. – 144 с.
8. Алмазов, А.М. Гидрохимия устьевых областей рек / А.М. Алмазов. – Киев: Изд. АН УССР, 1962. – 256 с.
9. Альтман, Э.Н. К вопросу об изменчивости расходов воды в Керченском проливе (по натурным наблюдениям) / Э.Н. Альтман // Труды Государственного океанографического института. – 1976. – Вып. 132. – С. 17–28.
10. Ананьев, Г.С. Динамическая геоморфология : учебное пособие / под ред. Г.С. Ананьева, Ю.Г. Симонова, А.И. Спиридонова. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 448 с.
11. Андриященко, Б.Ф. Солёность воды на взморье Килийского рукава дельты Дуная и её возможные изменения / Б.Ф. Андриященко, В.Г. Симов // Труды Государственного океанографического института. – 1984. – Вып. 172. – С. 58–64.
12. Антонов, В.С. Устьевая область реки Лены / В.С. Антонов. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 107 с.
13. Аполлов, Б.А. Учение о реках / Б.А. Аполлов. – М.: Изд. Московского университета, 1963. – 424 с.
14. Артёмов, А.В. Сравнительный анализ антропогенного загрязнения снежного покрова

и гидросферы урбанизированных ландшафтов / А.В. Артемов, Е.Ю. Выговская // Экология и промышленность России. – 1999. – № 4. – С. 32–35.

15. Атлас льдов Чёрного и Азовского морей [Карты, текст]. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1962. – 73 с.

16. Атлас Украинской ССР и Молдавской ССР [Карты, текст] / отв. ред. В.Г. Бондарчук. – М.: Главное управление геодезии и картографии Министерства геологии и охраны недр СССР, 1962. – 92 с.

17. Атлас океанографических характеристик Севастопольской бухты [Карты, схемы]. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. – 320 с.

18. Атлас охраны природы Севастополя [Электронный ресурс]: электрон. карты, текст /под ред. Р.Я. Миньковской. – Севастополь, 2006. – 2 электрон. опт. диска (2D, CD–RW). – 255 с.

19. Атлас охраны природы Чёрного и Азовского морей [Карты, текст] / под ред. Л.И. Митина. – СПб.: ГУНиО МО РФ, ЦКФ ВМФ, 2006. – 435 с.

20. Ациховская, Ж.М. Абиотические факторы среды в районе сброса сточных вод (акватория Севастополя) / Ж.М. Ациховская, Е.А. Куфтаркова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа: сб. науч. тр. Морского гидрофизического института НАНУ. – 1999. – С. 47–57.

21. Ашмарин, И.П. Быстрые методы статистической обработки и планирование экспериментов / И.П. Ашмарин, Н.Н. Васильев, В.А. Амбросов. – Л.: Изд. Ленинградского университета, 1975 – 80 с.

22. Бабич, Д.Б. Нижняя Индигирка: устьевые и русловые процессы / Д.Б. Бабич, В.Н. Коротаяев, Д.В. Магрицкий, В.Н. Михайлов. – М.: ГЕОС, 2001. – 202 с.

23. Багров, Н.В. Проблемы развития и размещения производительных сил Северного Причерноморья / Н.В. Багров, Г.Л. Градов. – М.: Мысль, 1974. – 152 с.

24. Байдин, С.С. Гидрология дельты Волги / С.С. Байдин, Ф.Н. Линберг, И.В. Самойлов. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 331 с.

25. Байдин, С.С. Сток и уровни дельты Волги / С.С. Байдин. – М.: Гидрометеиздат, 1962. – 337 с.

26. Байдин, С.С. Стадийность развития устьевой области реки / С.С. Байдин // Труды Государственного океанографического института. – 1971. – Вып. 104. – С. 5–30.

27. Беляев, В.И. Математическое моделирование экологических систем шельфа / В.И. Беляев, Н.В. Кондуфорова. – К.: Наукова думка, 1990. – 240 с.

28. Беляева, О.И. Характеристика нефтяного загрязнения в районе причала / О.И. Беляева, Н.В. Бурдиян, Л.В. Енина [и др.] // Екологічні проблеми Чорного моря. – 2004. – С. 45–46.

29. Берлинский, Н.А. К вопросу о формировании придонной гипоксии в северо-западной

части Черного моря / Н.А. Берлинский // Экология моря. 1991. – Вып. 38. – С. 11–15.

30. Берлинский, Н.А. Оценка процессов заносимости в Жебриянской бухте на примере порта Усть-Дунайск / Н.А. Берлинский, С.А. Лонин // Морской гидрофизический журнал. – 1996. – № 2. – С. 74–80.

31. Берлинский, Н.А. Проблемы антропогенного эвтрофирования и развития гипоксии в северо-западной части Чёрного моря / Н.А. Берлинский, Г.П. Гаркавая, Ю.И. Богатова // Экология моря. – 2003. – Вып. 63. – С. 17–22.

32. Большаков, В.С. Трансформация речных вод в Чёрном море / В.С. Большаков. – К.: Наукова думка, 1970. – 328 с.

33. Бондарев, И.П. Особенности формирования и развития Севастопольской бухты / И.П. Бондарев, И.Э. Ломакин, В.Е. Иванов. // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2015. – № 4. – С. 19–31.

34. Борисенко, Л.С. Гидрогеологические условия субмаринной разгрузки подземных вод Крыма / Л.С. Борисенко // Водные ресурсы. – 2001. – Т. 28, № 1. – С. 18–25.

35. Боуден, К.Ф. Физическая океанография прибрежных вод / К.Ф. Боуден. – М.: Мир, 1988. – 324 с.

36. Валеева, Э.И. Роль водно-болотных угодий в устойчивом развитии севера Западной Сибири / Э.И. Валеева, Д.В. Московченко. – Тюмень: Изд. ИПОС СО РАН, 2001. – 229 с.

37. Варзар, С.А. К вопросу об отыскании скрытых периодичностей. Метод Шустера / С.А. Варзар // Записки ГГИ. – 1934. – Т. XIII. – С. 39–77.

38. Васечкина, Е.Ф. Моделирование возникновения и распространения гипоксии на мелководье / Е.Ф. Васечкина, В.Д. Ярин // Морський екологічний журнал. – 2006. – Т. V, № 3. – С. 57–69.

39. Василенко, В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман [и др.] – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 182 с.

40. Вержевская, Л.В. О загрязнении прибрежной акватории Севастопольского региона сточными водами / Л.В. Вержевская, Р.Я. Миньковская // Геоэкология и природопользование: актуальные вопросы науки, практики и образования / Материалы Всероссийской научно-практич. конф. с междунар. участием 17–20 окт. 2018 г. – Симферополь, 2018. – С. 99–102.

41. Вероятностный анализ и моделирование океанологических процессов: сборник статей / под ред. В.А. Рожкова. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 170 с.

42. Вишневский, В.И. Гидрохимическая характеристика низовьев крупных рек Украины / В.И. Вишневский, И.М. Казимир // Гидрохимические материалы. – 1994. – Т. 113. – С. 31–43.

43. Вишневський, В.І. Зміни стану довкілля в Україні / В.І. Вишневський, О.О. Косовиць // Географія в інформаційному суспільстві: зб. наук. праць. – К.: ВГЛ Обрії, 2008. – Т. III. – С. 5–13.

44. Водный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: [от 03.06.2006 № 74-ФЗ: принят Гос. Думой 12 апр. 2006, (ред. от 29.07.2017): по состоянию на 05.03.2018]. – КонсультантПлюс. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/ (дата обращения: 05.03.2018).

45. Водний кодекс України. Кодекс України про надра. Лісовий кодекс України. Повітряний кодекс України : за станом на 22 жовт. 2013 р. – К.: Право, 2013. – 248 с.

46. Водоохранные зоны реки Чёрной и паспортизация рек Байдарка, Айтодорка, Бага Нижняя, Сухая речка зоны города Севастополя : отчёт о НИР. – Симферополь: Крымгипроводхоз, 2005. – 119 с.

47. Временные методические рекомендации по расчету выноса органических, биогенных веществ, пестицидов и микроэлементов речным стоком . – М.: Гидрометеиздат, 1983. – 32 с.

48. Гаркавая, Г.П. Районирование Украинского сектора северо-западной части Чёрного моря (по гидрофизическим и гидрохимическим характеристикам) / Г.П. Гаркавая, Ю.И. Богатова, Н.А. Берлинский [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2000. – С. 9–24.

49. Геология шельфа УССР. Лиманы / под ред. Е.Ф. Шнюкова. – К.: Наукова думка, 1984. – 176 с.

50. Геродот. История : в 9 кн. / Геродот; пер. Г.А. Стратановского; под ред. С.Л. Утченко. – М.: Наука, 1972. – кн. IV, §§ 16 – 21, 47 – 58, 71, 81, 82. – С. 45–82.

51. Гидрологические и воднобалансовые расчёты / под ред. Н.Г. Галущенко. – К.: Вища школа, 1987. – 248 с.

52. Гидрология дельты Дуная / под ред. В.Н. Михайлова. – М.: ГЕОС, 2004. – 449 с.

53. Гидрология дельты и устьевого взморья Кубани / под ред. Михайлова В.Н., Магрицкого Д.В., Иванова А.А. – М.: ГЕОС, 2010. – 728 с.

54. Гидрология морских устьев рек Дальнего Востока // Труды Дальневосточного регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института. – 1989. – Вып. 38. – 183 с.

55. Гидрология устьевой области Дуная / под ред. Я.Д. Никифорова, К. Дьякону. – М.: Гидрометеиздат, 1963. – 383 с.

56. Гидрология устьевой области Куры . – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 323 с.

57. Гидрология устьевой области Невы / под ред. С.С. Байдина. – М.: Гидрометеиздат, 1965. – 383 с.

58. Гидрология устьевой области Северной Двины [Текст, схемы, карты] / под ред. М. И. Зотина, В. Н. Михайлова. – М.: Гидрометеиздат, 1965. – 376 с.

59. Гидрология устьевых областей рек Терека и Сулака / С.С. Байдин, Н.А., Скрипунов,

Б.С. Шейнман, Г.Н. Ган. – М.: Гидрометеиздат, 1971. – 198 с.

60. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Чёрное море. В 10 т. – Т. 4 / отв. ред. Ф.С. Терзиев. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 100 с.

61. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море / Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н. [и др.]. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. – С. 421.

62. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Черное море. Гидрометеорологические условия. В 10 т. – Т. 4 / отв. ред. Ф.С. Терзиев. – СПб.: Гидрометеиздат, 1991. – Вып. 1. – 430 с.

63. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Чёрное море. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. В 10 т. – Т. 4 / отв. ред. Ф.С. Терзиев. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – Вып. 2. – 220 с.

64. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Чёрное море. Современное состояние загрязнения вод Чёрного моря. В 10 т. – Т. 4 / отв. ред. Ф.С. Терзиев. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 1996. – Вып. 3. – 231 с.

65. Гидрохимия поверхностных вод УССР в условиях антропогенного воздействия / В.И. Пелешко, Д.В. Закревский, Н.И. Ромась [и др.] // Современные проблемы региональной и прикладной гидрохимии. – 1987. – С. 140 – 151.

66. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1977. – 480 с.

67. Гончарук Е.И. Коммунальная гигиена / Е.И. Гончарук, В.Г. Бардов, С.И. Гаркавый и др. [под ред. Е.И. Гончарук]. – К.: Здоров'я, 2006. – 792 с.

68. Гордеев, В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии / В.В. Гордеев. – М.: Наука, 1983. – 160 с.

69. Гордеев, В.В. Геохимия системы река–море / В.В. Гордеев. – М.: ООО «СамПолиграфист», 2012. – 452 с.

70. Горячкин, Ю.Н. Межгодовая изменчивость гидрометеорологического режима южного побережья Чёрного моря / Ю.Н. Горячкин, В.А. Иванов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 1999. – С. 7–16.

71. ГОСТ 18179-73 . Гидрология суши. Термины и определения. – Введ. 1974–07–01. – М.: Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1988. – 36 с.

72. ГОСТ 18451-73 – ГОСТ 18458-73 Океанология. Термины и определения . – Введ. 1974–07–01. – М.: Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1973. – 64 с.

73. ГОСТ 19185-73. Гидротехника. Основные понятия . – Введ. 1973–10–31. – М.: Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1974. – 25 с.

74. ГОСТ 17.1.1.01-77* . Межгосударственный стандарт (группа Т00). Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения: (изд. с изменениями 1984, 1986 гг.). – Введ. 1978–07–01. – М.: Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1977. – 9 с.

75. ГОСТ 27065-86 . Качество вод. Термины и определения. Межгосударственный стандарт. – Введ. 1987–01–01. – М.: ИПК Изд. стандартов, 2003. – 8 с.

76. ГОСТ 22.0.03-95 . Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. – Введ. 1995–05–25. – М.: Госстандарт России: ИПК Изд. стандартов, 1995. – 16 с.

77. ГОСТ Р 50779.10-2000 . Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения. – Введ. 2001–07–01. – М.: Госстандарт России: ИПК Изд. стандартов, 2000. – 46 с.

78. Государственный водный кадастр. Гидрологический ежегодник : в 129 т. Т. 2, Вып. 0. – Киев, 1965–1980; Т. 2, Вып. 1. – Киев, 1981–1983; Т. 2, Вып. 1. – Обнинск: ВНИИГМИ МЦД, 1984–1988; Т. 2, Вып. 1, 6. – Л.–М.: Гидрометеиздат, 1936–1940; Т. 2, Вып. 0, 1, 6. – Л.–М.: Гидрометеиздат, 1941–1949; Т. 2, Вып. 0, 1. – Л.–М.: Гидрометеиздат, 1950–1964; Т. 2, Вып. 1. – Киев, 1965–1980; Т. 2, Вып. 1. – Киев, 1981–1983; Т. 2, Вып. 1. – Обнинск: ВНИИГМИ МЦД, 1984–1988; Т. 2, Вып. 5. – Л.–М.: Гидрометеиздат, 1936–1939; Т. 2, Вып. 2–5. – Л.–М.: Гидрометеиздат, 1941–1944; Т. 2, Вып. 2. – Л.–М.: Гидрометеиздат, 1945–1957; Т. 2, Вып. 5. – Л.–М.: Гидрометеиздат, 1958–1964; Т. 2, Вып. 5. – Киев, 1965–1980; Т. 1, Вып. 2. – Киев, 1981–1983; Т. 2, Вып. 2. – Обнинск: ВНИИГМИ МЦД, 1984–1988.

79. Государственный водный кадастр. Ежегодные гидрохимические данные о качестве морских вод. Чёрное и Азовское моря, Севастопольская бухта : в 35 т. / Севастопольское отделение Государственного океанографического института, Морское отделение УкрНИГМИ. – Севастополь: СОГОИН, МО УкрНИГМИ, 1977–2012. – Т. 4, 5. – Ч. 1.

80. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Реки и каналы. Украина : в 30 т. – К.: ДОД Госкомгидромета, 1983–2012. – Т. 4. – Ч. 1. – Вып. 3.

81. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Реки и каналы : в 23 т. / сост. В.Л. Андрейченко; ред. И.Б. Сальникова. – Симферополь: КрымЦГМ, 1989–2012. – Т. 2. – Ч. 1. – Вып. 3.

82. Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Реки и каналы : в 25 т. / сост. Т.Е. Пилипенко, В.Г. Белова; ред. И.А. Колесник. – Симферополь: КрымЦГМ, 1988–2012. – Т. 2. – Ч. 1. – Вып. 3.

83. Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные

данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек. Устья рек : в 34 т. / сост. Л.А. Мишина, Р.Я. Миньковская; отв. ред. Р.Я. Миньковская (с 1988 г). – Севастополь: МО УкрНИГМИ, 1976–2008. – Т. 4. – Ч. 2.

84. Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек. Моря : в 37 т. – Севастополь: МО УкрНИГМИ, 1976–2012. – Т. 4 (14). – Ч. 1.

85. Гринько, Е.С. Закономерности современного распределения расхода воды по рукавам дельты Днепра при отсутствии значительных сгонно-нагонных колебаний уровня / Е.С. Гринько // Труды Государственного океанографического института. – 1976. – Вып. 129. – С. 136–141.

86. Гринько, Е.С. Основные закономерности гидрологического режима дельты Днепра / Е.С. Гринько // Труды Государственного океанографического института. – 1978. – Вып. 142. – С. 89–92.

87. Гулин, М.Б. Палеорула рек Чёрная и Бельбек на шельфе юго-западного Крыма – новый объект экологических исследований / М.Б. Гулин, М.В. Коваленко // Морской экологический журнал. – 2010. – Т. IX, № 1. – С. 25–31.

88. Гурский, Ю.Н. Геохимия анаэробных и обменных процессов на нижнем этаже маргинального фильтра / Ю.Н. Гурский // Геология морей и океанов: материалы XVIII межд. науч. конф. по морской геологии, 16–20 ноября 2009 г., Москва. – М.: ГЕОС, 2009. – Т. IV. – С. 45–51.

89. Демидов, А.Н. Автоматизированная система Государственного Водного Кадастра по морям и морским устьям рек – основа оценки состояния водной среды / А.Н. Демидов, Р.Я. Миньковская // Вода: проблемы и решения: труды V междунар. науч.-практ. конф. 21–22 сент. 1999 г., Днепропетровск. – Днепропетровск, 1999. – С. 56–59.

90. Демидов, А.Н. Комплексный план действий. В 2 т. – Т. 2. : отчёт о НИР / А.Н. Демидов, Р.Я. Миньковская, В.Ю. Супруненко // Комплексная программа охраны окружающей природной среды, рационального использования природных ресурсов и экологической безопасности г. Севастополя на период до 2010 г. – Севастополь, 2001. – С. 209–215.

91. Демидов, А.Н. Усовершенствование системы наблюдений и подготовки Государственного Водного Кадастра / А.Н. Демидов, Р.Я. Миньковская // Системы контроля окружающей среды: сб. науч. тр. Морского гидрофизического института НАНУ. – 2005. – С. 39–41.

92. Джиганшин, Г.Ф. Межгодовые вариации речного стока в Северо-западную часть Чёрного моря / Г.Ф. Джиганшин, И.Ю. Юркова // Системы контроля окружающей среды. – 2001. – С. 267–272.

93. Динамика гидрографической сети неприливых устьев рек / В.Н. Михайлов, М.М. Рогов, Т.А. Макарова, В.Ф. Полонский. – М.: Гидрометеиздат, 1977. – 294 с.

94. Днепровско-Бугская эстуарная экосистема . – К.: Наукова думка, 1989. – 240 с.

95. Днестр и его бассейн (Гидрологический очерк) / под ред. А.П. Доманицкого. – Л.: Гидрометеиздат, 1941. – 308 с.
96. Долгополова, Е.Н. Классификация эстуариев по гидродинамическим процессам / Е.Н. Долгополова, М.В. Исупова // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37, № 3 (май–июнь). – С. 274–291.
97. Долотов, В.В. Повышение рекреационного потенциала Украины: кадастровая оценка пляжей Крыма / В.В. Долотов, В.А. Иванов – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2007. – 194 с.
98. Донные отложения водохранилищ и их влиянии на качество воды / А.И. Денисова, Е.П. Нахшина, Б.И. Новиков, А.К. Рябов. – К.: Наукова думка, 1987. – 164 с.
99. Доронин, Ю.П. Региональная океанология / Ю.П. Доронин – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 174 с.
100. Доронин, Ю.П. Океанография шельфовой зоны / Ю.П. Доронин – СПб.: Изд. РГГМУ, 2007. – 128 с.
101. Дубина, В.Г. Требования рыбного хозяйства к водным ресурсам рек южных морей СССР в условиях территориального перераспределения стока / В.Г. Дубина // Водохозяйственные мероприятия и их влияние на устья рек Азово-Черноморского бассейна: сб. науч. работ. – М., 1980. – С. 15–31. – Деп. 25.01.1980 г. ВНИИГМИ-МЦД, Зак. № 395.
102. Екологічна енциклопедія : у 3 т. / голов. ред. А.В. Толстоухов [та ін.]. – К.: ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації», 2007. – Т. 2: Є–Н. – 416 с.
103. Екологічний паспорт міста Севастополь . – Севастополь, 2006–2012 гг.
104. Екологія та сталий розвиток Миколаєва . – Миколаїв: Виконком Миколаївської міської ради. АЦЕБР, 2004. – 142 с.
105. Журавлёва, Л.А. Гидрохимия устьевой области Днепра и Южного Буга в условиях зарегулированного речного стока / Л.А. Журавлёва. – К.: Наукова думка, 1988. – 175 с.
106. Журбас, Н.В. О переносе стока малых рек вдольбереговым бароклинным морским течением / Н.В. Журбас, П.О. Завьялов, А.С. Свиридов [и др.] // Океанология. – 2011. – Т. 51, № 3. – С. 440–449.
107. Завьялов, П.О. Гидрофизические и гидрохимические характеристики морских акваторий у устьев малых рек российского побережья Черного моря / П.О. Завьялов, П.Н. Маккавеев, Б.В. Коновалов [и др.] // Океанология. – 2014. – Т. 54, № 3. – С. 293–308.
108. Завьялов, П.О. Речные плюмы в акватории Сочи / П.О. Завьялов, П.Н. Маккавеев // Наука в России. – 2014. – № 2. – С. 4–12.
109. Зацепин, А.Г. Поверхностный опресненный слой в Карском море / А.Г. Зацепин, П.О. Завьялов, В.В. Кременецкий [и др.] // Океанология. – 2010. – Т. 50, № 5. – С. 698–708.
110. Зацепин, А. Г. О ветровом механизме трансформации линзы опресненных речным

стоком вод в Карском море / А.Г. Зацепин, П.О. Завьялов, В.И. Баранов [и др.] // Океанология. – 2017. – Т. 57, № 1. – С. 5–12.

111. Зырянов, В.Н. Гидродинамика соленостного клина / В.Н. Зырянов // Водные ресурсы. – 1987, № 6. – С. 107–125.

112. Зырянов, В.Н. Интрузия морских вод в устья рек / В.Н. Зырянов, М.К. Чебанова, Н.Н. Филатов // Водные ресурсы. – 2015. – Т. 42, № 5. – С. 492–503.

113. Зырянов, В.Н. Гидродинамические эффекты при вхождении приливных волн в эстуарии / В.Н. Зырянов, М.К. Чебанова // Водные ресурсы. – 2016. – Т. 43, № 4. – С. 379–386.

114. Иванников, А.В. Геоэкологическое районирование береговой зоны Чёрного и Азовского морей / А.В. Иванников, А.А. Парышев, В.Н. Елин [и др.] // Геологические проблемы Чёрного моря. – Киев, 2001. – С. 285–298.

115. Иванов, А.И. Фитопланктон устьевых областей рек северо-западного Причерноморья / А.И. Иванов – К.: Наукова думка, 1982. – 212 с.

116. Иванов, В.А. Атмосферные и гидрологические условия, способствующие распространению речных вод в северо-западной части Чёрного моря / В.А. Иванов, Ю.П. Ильин // Комплексные экологические исследования Чёрного моря. – 1995. – С. 68–81.

117. Иванов, В.А. Формирование и эволюция вихревых образований, обусловленных стоком рек на северо-западном шельфе Чёрного моря / В.А. Иванов, А.И. Кубряков, Э.Н. Михайлова [и др.] // Исследование шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна: сб. научн. тр. Морского гидрофизического института НАНУ. – Севастополь, 1995. – С. 147 – 167.

118. Иванов, В.А. Моделирование распресняющего эффекта речного стока во время весеннего половодья на северо-западном шельфе Черного моря / В.А. Иванов, А.Н. Кубряков, Э.Н. Михайлова [и др.] // Известия РАН, ФАО, 1996. – Т. 32. – № 1. – С. 152–160.

119. Иванов, В.А. Моделирование экосистемы черноморского шельфа приустьевой зоны Дуная / В.А. Иванов, С.П. Любарцева, Э.Н. Михайлова [и др.] // Морской гидрофизический журнал. – 1999. – № 6. – С. 15–29.

120. Иванов, В.А. Моделирование гидрофизических процессов в морских прибрежных регионах / В.А. Иванов, А.И. Кубряков, С.П. Любарцева [и др.] // Морской гидрофизический журнал. – 2004. – № 2. – С. 8–28.

121. Иванов, В.А. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / В.А. Иванов, Е.И. Овсянный, Л.Н. Репетин [и др.] – Севастополь: Морского гидрофизического института НАНУ, 2006. – 90 с. – (Препринт Морского гидрофизического института НАНУ).

122. Иванов, В.А. Речной сток юга Украины: количественные оценки паводков, принципы управления и прогноз / В.А. Иванов, А.В. Прусов. – Севастополь, 2006. – 232 с.

123. Иванов, В.А. Морские устья рек Украины и устьевые процессы : учебник в 2-х частях для студ. высш. учебн. завед. / В.А. Иванов, Р.Я. Миньковская. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. – 806 с.
124. Иванов, В.А. Водный баланс Севастопольского региона, водные ресурсы и их увеличение при строительстве водохранилища в балке Тёмной / В.А. Иванов [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа: сб. науч. тр. МГИ НАНУ. – 2008. – Вып. 17. – С. 48–59.
125. Иванов, В.А. Океанография Чёрного моря / В.А. Иванов, В.Н. Белокопытов. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. – 209 с.
126. Иванов, В.А. Морские ресурсы прибрежной зоны Украины / В.А. Иванов, Гожик П.Ф. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. – 380 с.
127. Иванов, В.А. Развитие водного хозяйства и сохранение водных ресурсов Севастопольского региона путём сооружения водохранилища в Камышловском овраге / В.А. Иванов [и др.] // X Міжнародний водний форум «AQUA UKRAINE – 2012» [Электронный ресурс]: міжнародна науково-практична конференція «Вода та довкілля» 06–09 листопада 2012 р., Київ. – К.: ТОВ «Міжнародний виставковий центр», 2012. – С. 60–61. – (CD–RW).
128. Иванов, В.А. Оценка водного баланса Днепровско-Бугского лимана для сохранения водных ресурсов и рационального природопользования / В.А. Иванов, Р.Я. Миньковская // X Міжнародний водний форум «AQUA UKRAINE – 2012» [Электронный ресурс]: міжнародна науково-практична конференція «Вода та довкілля» 06–09 лист. 2012 р., Київ. – К.: ТОВ «Міжнародний виставковий центр», 2012. – С. 62. – (CD–RW).
129. Иванов, В.В. Основные принципы гидролого-морфологического районирования устьевых областей крупных рек / В.В. Иванов // Тр. ААНИИ. – 1974. – Т. 308. – С. 4–13.
130. Ильин, Ю.П. Вынос биогенных веществ в Чёрное море с речным стоком / Ю.П. Ильин, Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2001. – Вып. 2. – С. 114–118.
131. Ильин, Ю.П. Гидрологический режим распространения речных вод в северо-западной части Чёрного моря / Ю.П. Ильин // Труды Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. – 2006. – Вып. 255. – С. 241–250.
132. Иноземцев, Ю.И. Палеогеография северо-западного шельфа Черного моря в голоцене / Ю.И. Иноземцев, Л.В. Ступина, Н.В. Тюленева [и др.] // Вісник Одеського національного університету Сер.: Географічні та геологічні науки. – 2014. – Т. 19, Вип. 1. – С. 43–52.
133. Инструкция по оценке качества методов и оправдываемости морских гидрологических прогнозов . – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 88 с.
134. Иппен, А.Т. Гидродинамика береговой зоны и эстуариев / Иппен А.Т.; пер. с англ.

А.В. Некрасова, Р.В. Пясковского, В.М. Радикевича. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1970. – 395 с.

135. Карта Черного моря: Днепровский Лиманъ, части Сѣвернаго Берега Чернаго Моря [Карты] / сост. кап. – лейт. Е. Манганари и подг. к изд. в Черноморском Гидрографическом Депо в 1826–1836 гг. – 1836. – испр. в 1861 г. в Гидрограф. части в Николаеве. – 1881. – 1 : 1 315 440.

136. Карти. Чорне море: Північно-західна частина, дельта річки Дунай, бухта Жебріянська, дельта річки Дніпро, Дніпровський лиман, річка Південний Буг, гирло річки Дніпро, Севастопольська бухта [Карти]: гідрографічні карти / Державна установа «Держгідрографія». – Київ. – 2008–2012. – 1 : 12 500, 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 75 000.

137. Карты. Чёрное море: Днепровский лиман, Бугский лиман, Севастопольская бухта [Карты]: гидрографические карты / Управление по безопасности кораблевождения Чёрного и Азовского морей. – 1924–1936. – 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 150 000.

138. Карты. Чёрное море: Днепровский лиман, Бугский лиман, река Южный Буг, дельта реки Дунай, дельта реки Днепр, река Днепр, Жебриянская бухта, Севастопольская бухта, Березанский лиман [Карты]: гидрографические карты / Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны СССР. – М. – 1968–1986. – 1 : 10 000, 1 : 12 500, 1 : 25 000, 1 : 50 000.

139. Каспийское море. Гидрология устьев рек Терека и Сулака / Н.И. Алексеевский, В.Н. Михайлов, А.Ю. Сидорчук и др. [Отв. ред.: А.Н. Косарев, В.Н. Михайлов. – М.: Наука, 1993. – 160 с.

140. Категорийность водоёмов Дунай-Днестровского междуречья: сб. научн. статей: «Вода и здоровье» / Т.А. Сафранов, А.Л. Цикало, Т.Г. Чёрная [и др.]. – Одесса: ОЦНТЭИ, 2000. – С. 132–136.

141. Кашинов, Н.С. О расчёте водообмена между полузамкнутым и открытым водоёмами (на примере Невской губы) / Н.С. Кашинов // Труды Государственного океанографического института. – 1978. – Вып. 142. – С. 109–115.

142. Килийская часть дельты Дуная весной 2000 г.: состояние экосистем и последствия техногенных катастроф в бассейне / под ред. Б.Г. Александрова. – Одесса: НАНУ, Одесский филиал Института биологии южных морей, 2001. – 128 с.

143. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дьячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.

144. Ковальчук, Л.А. К вопросу о заморных явлениях северо-западной части Черного моря / Л.А. Ковальчук // Метеорология и гидрология. – 1986, № 3. – С. 73–80.

145. Козлова, Э.В. О принципах составления эколого-гидрогеологических карт / Э.В. Козлова, А.Н. Воронов // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 24, № 2. – С. 224–227.

146. Комплексные исследования устьев рек европейского Севера России : сб. научн. тр.

под ред. И.В. Мискевич. – Архангельск: изд. АГТУ, 2003. – 84 с.

147. Конвенция о защите Черного моря от загрязнения (Бухарест, 21.04.1992): [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://www.conventions.ru/view_base.php?id=1083 (дата обращения: 05.03.2018).

148. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Хельсинки, 17.03.1992): [Электронный ресурс] / вступ. в силу 06.10.1996. – Режим доступа: URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/watercourses_lakes.shtml (дата обращения: 14.03.2018).

149. Конвенция ООН о праве несудоходных видов использования международных водотоков (Нью-Йорк, 21.05.1997): [Электронный ресурс] / прин. резол. 51/229 Ген. Ассамб., вступ. в силу в 2014 г. – Режим доступа: веб-сайт ООН: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/watercrs.shtml.

150. Константинов, А.С. Общая гидробиология / А.С. Константинов – М.: «Высшая школа», 1986. – 472 с.

151. Концепция федеральной целевой программы "Мировой океан" на 2016-2031 годы – утв. Распоряжением правительства РФ от 22.06.2015 № 1143-р. [Электронный ресурс] // Российская газета 23.06.2015 М.: Режим доступа: <http://federalbook.ru/files/OPK/Soderjanie/OPK-7/VI/Morskaya%20doktrina.pdf>. – (дата обращения 07.03.2018).

152. Копайгородский, Е.М. Изменение водного баланса и солёности Днепро-Бугского лимана в связи с зарегулированием стока р.Днепра / Е.М. Копайгородский // Труды Государственного океанографического института. – 1955. – Вып. 020. – С. 79–124.

153. Копылов, И.С. Геоморфологические ландшафты как основа геоэкологического районирования [Текст, Карты] / И.С. Копылов, Б.С. Лунёв, О.Б. Наумова, А.В. Маклашин // Фундаментальные исследования. – Пенза: изд. дом «Академия естествознания». – 2014. – № 11 – 10. – С. 2196–2201.

154. Коротаев, В.Н. Некоторые особенности русловых процессов в устьях рек арктической зоны / В.Н. Коротаев, В.А. Милошевич, Р.С. Чалов // Труды Государственного океанографического института. – 1978. – Вып. 142. – С. 65–71.

155. Коротаев, В.Н. Морфогенетическая классификация и районирование устьевых систем: геоморфологический аспект проблемы // Вестник Московского университета, 2012. – Серия 5. География. – № 6. – С. 3–8.

156. Костяницын, М.Н. Гидрология устьевой области Днепра и Южного Буга / М.Н. Костяницын. – М.: Гидрометеиздат, 1964. – 336 с.

157. Кравцова, В.И. Устья рек России. Атлас космических снимков [Снимки, Карты, Текст] / В.И. Кравцова, Н. С. Митькиных: [под ред. В.М. Михайлова]. – М.: Научный мир, 2013. – С. 122.

158. Кресин, В.С. Оценка экологической уязвимости украинской части прибрежных зон Азовского и Чёрного морей / В.С. Кресин, В.А. Баранник // Проблемы охраны навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наук. праць. – Харків: Видавничий Дім «Райдер», 2007. – Вип. XXIX. – С. 76–89.
159. Крутовский, А.О. Вопросы районирования нижней части устьевой области Невы / А.О. Крутовский, В.Я. Коростышевский, А.С. Паламарчук / Вестник Рязан. гос. ун-та им. С.А. Есенина. – 2017. – № 2 (55). – С. 166–175.
160. Куфтаркова, Е.А. Экологические условия выращивания мидий в Севастопольской бухте / Е.А. Куфтаркова, А.А. Субботин, Н.Ю. Родионова [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2007. – Вып. 15. – С. 434–442.
161. Куфтаркова, Е.А. Биогенные элементы как основа биопродуктивности вод района мидийной фермы / Е.А. Куфтаркова, М.И. Сеничева // Экология моря. – 2009. – Вып. 77. – С. 62–66.
162. Лаврентьев, Ю.А. Численное моделирование проникновения солёных вод в устья рек / Ю.А. Лаврентьев. – М., 1988. – 32 с. – Деп. в ВИНТИ 03.05.1988, № 8305–В88.
163. Левковский, С.С. Водные ресурсы Украины / С.С. Левковский. – К.: Вища школа, 1973. – 200 с.
164. Лесов, А.М. Анализ управления качеством воды в реках АР Крым / А.М. Лесов // Проблемы охраны навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наук. праць. – Харків: Видавничий Дім «Райдер», 2007. – Вип. XXIX. – С. 16–25.
165. Лиманно-устьевые комплексы Причерноморья: географические основы хозяйственного освоения / под ред. Г.И. Швевса. – Л.: Наука, 1988. – 303 с.
166. Лисицын, А.П. Маргинальный фильтр океанов / А.П. Лисицын // Океанология. – 1994. – Т. 34, № 5. – С. 735–747.
167. Лобода, Н.С. Изменения климата и его влияние на реки Украины / Н.С. Лобода, А.А. Коробчинская, А.А. Рудник // Український гідрометеорологічний журнал. – 2010. – № 6. – С. 199–204.
168. Лобода, Н.С. Вплив змін клімату на живлення лиманів північно-західного Причорномор'я прісними водами за сценаріями глобального потепління / Н.С. Лобода, З.Ф. Сербова, А.М. Куза [та інш.] // Лимани північно-західного Причорномор'я: актуальні гідроекологічні проблеми та шляхи їх вирішення: тез. докл. всеукраїн. наук.- практ. конф., 12–14 вер. 2012 р., Одеса / М-во освіти і науки України, ОДЕКУ [та ін.]. – Одеса: ТЕС, 2012. – С. 24–27.
169. Лупачёв, Ю.В. Особенности проникновения солёной воды в приливное устье реки (на примере устья Северной Двины) / Ю.В. Лупачёв // Труды Государственного океанографиче

ского института. – 1976. – Вып. 129. – С. 37–52.

170. Лупачёв, Ю.В. Методика расчёта теплового влияния речного стока на термический режим вод моря / Ю.В. Лупачёв // Труды Государственного океанографического института. – 1980. – Вып. 159. – С. 3–9.

171. Лучшева, А.А. Практическая гидрометрия / А.А. Лучшева. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 424 с.

172. Львович, М.И. Реки СССР / М.И. Львович – М.: Мысль, 1971. – 352 с.

173. Магрицкий, Д.В. Опасные гидрологические явления и процессы в устьях рек: вопросы терминологии и классификации / Д.В. Магрицкий // Наука. Техника. Технологии. – 2016, № 2. – С. 35–61.

174. Маккавеев, Н.Н. Общие особенности русловых процессов на излучинах и методики их исследований / Н.Н. Маккавеев, Н.В. Хмелёва // Экспериментальная геоморфология. – М.: Изд. Моск. ун-та. – 1969. – Вып. 2. – С. 7–25.

175. Мальцев, С.В. К методике расчёта солёности воды на устьевом взморье закрытого типа (на примере Днепровско-Бугского лимана) / С.В. Мальцев // Труды Государственного океанографического института. – 1976. – Вып. 129. – С. 53–64.

176. Маргвелашвили, Н.Ю. Численное моделирование трехмерных полей течений и солёности в Днепровско-Бугской эстуарии / Н.Ю. Маргвелашвили // Диагноз состояния среды прибрежных и шельфовых зон Чёрного моря. – 1996. – С. 31–37.

177. Мартазінова, В.Ф. Зміни великомасштабної атмосферної циркуляції повітря протягом ХХ ст. та її вплив на погодні умови і регіональну циркуляцію повітря України / В.Ф. Мартазінова, Т.А. Сverdлик // Український географічний журнал. – 2001. – № 2. – С. 28–34.

178. Мартазинова, В.Ф. Состояние средней суточной температуры воздуха и суточного количества осадков зимнего сезона в ХХ столетии по Киеву / В.Ф. Мартазинова, С.В. Савчук, И.В. Витвицкая // Труды Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. – 2007. – Вып. 256. – С. 7–18.

179. Медведев, И.П. Спектр мезомасштабных колебаний уровня северной части Чёрного моря: приливы, сейши, инерционные колебания / И.П. Медведев, Е.А. Куликов // Океанология. – 2016. – Т. 56, № 1. – 10–17.

180. Мезенцева, И.В. Загрязняющие органические вещества в верхнем слое морских донных отложений по результатам мониторинга на морской сети гидрометеорологической службы Украины / И.В. Мезенцева // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2005. – Вып. 12. – С. 262–267.

181. Мезенцева, И.В. Загрязняющие вещества в воде и донных отложениях Днепровского лимана в 1996 – 2006 гг. / И.В. Мезенцева, Н.П. Клименко, О.Н. Хоменко // Экологическая безо-

пасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2009. – Вып. 18. – С. 38–47.

182. Мерцалова, Н.Б. Применение статистических методов при составлении океанографических пособий / Н.Б. Мерцалова // Труды Государственного океанографического института. – 1968. – С. 5–64.

183. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями : діюча з 1 січня 1999 р. – К.: СИМВОЛ-Т, 1998. – 28 с. – (Міжвідомчий керівний нормативний документ).

184. Методика «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» [Электронный документ]: утв. Приказом Минприроды РФ 30.11.1992. – М. – 60 с. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90799/. – (дата обращения: 16.05.2018).

185. Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям . – М.: Госкомгидромет СССР, 1988. – 8 с.

186. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений / под ред. А.В. Рождественского. – СПб.: Ротапринт ГГИ, 2005. – 123 с.

187. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений / под ред. А.В. Рождественского. – СПб.: Ротапринт ГГИ, 2007. – 67 с.

188. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. / под ред. А.В. Рождественского, Лобановой А.Г. – СПб.: Изд-во Нестор-История, 2010. – 162 с.

189. Миньковская, Р.Я. Метод расчёта составляющих теплообмена между Таганрогским заливом и Азовским морем / Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов. – М., 1990. – 10 с. – Деп. в ВИНТИ 06.06.1990, № 5422–В90.

190. Миньковская, Р.Я. Температура воды и ледовые условия в устьях больших рек Азовского и Черного морей / Р.Я. Миньковская, В.Г. Симов. – Севастополь, 1994. – 185 с. – Деп. в ДНТБ Украины 03.01.95. – № 36 – Ук95.

191. Миньковская, Р.Я. Загрязнение Азовского моря реками / Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов // Морехозяйственный комплекс и экосистема Азовского моря: материалы междунар. конф. 22–23 июня 1995 г., Мариуполь. – Мариуполь, 1995. – С. 82–85.

192. Миньковская, Р.Я. Оценка выноса нефтяных углеводородов речными водами / Р.Я. Миньковская // Диагноз состояния среды прибрежных и шельфовых зон Чёрного моря: сб. науч.

тр. Морского гидрофизического института НАНУ. – 1996. – С. 82–91.

193. Миньковская, Р.Я. Мониторинг нефтяного загрязнения Чёрного моря / Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов // Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза стихийных бедствий: мат. междунар. науч.-технич. семинара 14–18 сент. 1998 г., Севастополь. – К.: Знание, 1998. – Ч. II. – С. 7–13.

194. Миньковская, Р.Я. Загрязнение Чёрного моря реками / Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов // Открытое общество: междунар. конф. 27–29 окт. 1998 г., Севастополь. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 1998. – С. 32–33.

195. Миньковская, Р.Я. Волнение в Днепровско-Бугском лимане / Р.Я. Миньковская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 1999. – С. 72–78.

196. Миньковская, Р.Я. Предложения по расчёту выноса загрязняющих веществ реками / Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов // Вода: проблемы и решения: мат. V междунар. науч.-практ. конф. 21–22 сент. 1999 г., Днепропетровск. – Днепропетровск: «Гамалія», 1999. – С. 53–57.

197. Миньковская, Р.Я. Методика расчёта обмена через двухмерные обменные проливы на примере теплообмена / Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 1999. – С. 22–30.

198. Миньковская, Р.Я. Основные проблемы пресных вод. В 2 т. – Т. 1. Пресноводные ресурсы: отчет о НИР / Р.Я. Миньковская // Комплексная программа охраны окружающей природной среды, рационального использования природных ресурсов и экологической безопасности г. Севастополя на период до 2010 г. – Севастополь, 2001. – С. 253–257.

199. Миньковская, Р.Я. Пресноводные ресурсы: отчёт о НИР / Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов, Е.Я. Мартакова // Комплексная программа охраны окружающей природной среды, рационального использования природных ресурсов и экологической безопасности г. Севастополя на период до 2010 г. – 2001. – С. 61–73.

200. Миньковская, Р.Я. Проблемы хозяйствования, проектирования и экспертизы мероприятий по предотвращению затопления и подтопления в устьевых областях рек юго-западного Крыма / Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов // Екологічний Вісник. – 2002. – № 9 – 10. – С. 27–30.

201. Миньковская, Р.Я. Качество воды рек Севастопольского региона / Р.Я. Миньковская // Сб. научн. работ СЭС г. Севастополя. – Севастополь, 2002. – Вып. 7. – С. 34–40.

202. Миньковская, Р.Я. Вынос растворенных биогенных веществ в Чёрное море со стоком Килийского рукава р. Дунай / Р.Я. Миньковская, Ю.П. Ильин // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2005. – Вып. 12. – С. 155–166.

203. Миньковская, Р.Я. Распределение биогенных веществ в Севастопольской бухте и фа-

кторы его формирования / Р.Я. Миньковская, А.И. Рябинин, А.Н. Демидов: Современное состояние экосистем Чёрного и Азовского морей: тез. докл. междунар. науч. конф., 13–16 сент. 2005 г., Крым, Донузлав. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2005. – С. 74.

204. Миньковская, Р.Я. Роль устьевых областей крупных рек Украины в поступлении биогенных веществ в Чёрное море / Р.Я. Миньковская, Ю.П. Ильин, Н.Г. Хоролич [и др.]: Современное состояние экосистем Чёрного и Азовского морей: тез. докл. междунар. науч. конф., 13–16 сент. 2005 г., Крым, Донузлав. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2005. – С. 52–53.

205. Миньковская, Р.Я. Атлас охраны природы Севастополя – элемент устойчивого развития региона, пример интеграции науки, образования и администрирования / Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов, В.В. Долотов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2005. – Вып. 13. – С. 491–495.

206. Миньковская, Р.Я. Результаты государственного мониторинга главных элементов биогенного цикла в воде Севастопольской бухты / Р.Я. Миньковская, А.И. Рябинин, А.Н. Демидов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2007. – Вып. 15. – С. 66–73.

207. Миньковская, Р.Я. Преобладающие течения в устьевых областях рек Дунай, Бельбек, Чёрная, Днепр и Южный Буг / Р.Я. Миньковская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2007. – Вып. 15. – С. 194–203.

208. Миньковская, Р.Я. Геофизическая характеристика устьевой области реки Чёрной (севастопольский регион) / Р.Я. Миньковская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа: сб. науч. тр. Морского гидрофизического института НАНУ. – 2008. – Вып. 17. – С. 194–214.

209. Миньковская, Р.Я. Термины и определения океанографии морских устьев рек / Р.Я. Миньковская. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2009. – 28 с. – (Методическое руководство / Морской гидрофизический институт НАНУ).

210. Миньковская, Р.Я. Водный баланс Севастопольского региона / Р.Я. Миньковская // Доповіді Національної академії наук України. – 2009. – № 3. – С. 137–140.

211. Миньковская, Р.Я. Типизация морских устьев рек Украины / Р.Я. Миньковская // Доповіді Національної академії наук України. – 2009. – № 9. – С. 124–128.

212. Миньковская, Р.Я. Эволюция побережья морского устья рек Днепр и Южный Буг / Р.Я. Миньковская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа: сб. науч. тр. Морского гидрофизического института НАНУ. – 2009. – Вып. 20. – С. 63–77.

213. Миньковская, Р.Я. Уровень морского устья рек Днепр и Южный Буг / Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов // Ломоносовские чтения – 2010: науч. конф.: тезисы докл., Севастополь. –

Севастополь: Филиал МГУ в г. Севастополе, 2010. – С. 21–22.

214. Миньковская, Р.Я. Гидрохимическая характеристика рек севастопольского региона / Р.Я. Миньковская, А.В. Ингеров // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2010. – Вып. 22. – С. 281–295.

215. Миньковская, Р.Я. Локальные экологические катастрофы в Днепро-Бугской устьевой области / Р.Я. Миньковская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2010. – Вып. 23. – С. 166–170.

216. Миньковская, Р.Я. Океанография морского устья рек Днепр и Юж. Буг / Р.Я. Миньковская. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. – 506 с.

217. Миньковская, Р.Я. Комплексный мониторинг состояния устьевой области рек Днепр и Южный Буг – основа рационального природопользования / Р.Я. Миньковская // XI Міжнародний водний форум «AQUA UKRAINE – 2013» [Электронный ресурс]: міжнарод. наук. - практ. конф. «Вода та довкілля», 05–08 лист. 2013 р., Київ. – К.: ТОВ «Міжнародний виставковий центр», 2013. – 1 електрон. опт. диск (CD – RW). – С. 56–57.

218. Миньковская, Р.Я. Идентификация устьев рек Причерноморья на период IV – V вв. до н.э. / Р.Я. Миньковская // Ломоносовские чтения – 2013: науч. конф.: тезисы докл. – Севастополь: ООО «Экспресс – печать», 2013. – С. 21.

219. Миньковская, Р.Я. Солёность воды как критерий зонирования морских устьев рек. / Р.Я. Миньковская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2013. – Вып. 27. – С. 298–301.

220. Миньковская, Р.Я. Баланс воды, тепла и веществ Днепровско-Бугского лимана / Р.Я. Миньковская // Метеорология и гидрология. – 2014. – Вып. 1. – С. 92–100.

221. Миньковская, Р.Я. Проблемы использования водных ресурсов в устьевых регионах и пути их решения / Р.Я. Миньковская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2014. – Вып. 28. – С. 83–98.

222. Миньковская, Р.Я. Водно-, соле- и теплообмен через Кинбурнский пролив Днепровско-Бугского лимана / Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов // Океанология. – 2014. – Т. 54, № 5. – С.605–613.

223. Миньковская, Р.Я. О загрязнении нефтяными углеводородами поверхностного слоя воды Чёрного моря / Р.Я. Миньковская // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 10. – С. 89–98.

224. Миньковская, Р.Я. Районирование морских устьев рек по изменчивости солёности воды / Р.Я. Миньковская // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 9. – С. 76–88.

225. Миньковская, Р.Я. Эволюция морского устья реки Чёрной (Севастопольский регион) / Р.Я. Миньковская А.Н. Демидов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2016. – Вып. 1. – С. 81–88.

226. Миньковская, Р.Я. Оценка качества воды рек Севастопольского региона для определения антропогенной нагрузки на прибрежную часть Чёрного моря / Р.Я. Миньковская, Л.В. Вержевская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2016. – Вып. 2. – С. 93–101.
227. Миньковская, Р.Я. Оценка выноса хлорорганических пестицидов реками в Азовское море / Р.Я. Миньковская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2017. – Вып. 1. – С. 66–78.
228. Миньковская Р.Я. Оценка выноса нефтяных углеводородов реками в Чёрное море / Р.Я. Миньковская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2017. – Вып. 3 – С. 87–93.
229. Миньковская Р.Я. Районирование морских устьев рек как основа их типизации и усовершенствования научной терминологии / Р.Я. Миньковская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – Вып. 1 – С. 81–93.
230. Миньковская Р.Я. Оценка состояния морских устьев рек Севастопольского региона / Р.Я. Миньковская // Труды Государственного Океанографического института имени Н.Н. Зубова. – 2018. – Вып. 219. – С. 152–173.
231. Миньковская Р.Я. Опасные и особо опасные явления в морских устьях рек Чёрного и Азовского морей / Р.Я. Миньковская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – Вып. 3 – С. 64–76.
232. Михайлов, В.Н. Динамика потока и русла в непривливаемых устьях рек / В.Н. Михайлов. – М.: Гидрометеиздат, 1971. – 260 с.
233. Михайлов, В.Н. Гидрологические процессы в устьях рек / В.Н. Михайлов. – М.: ГЕОС, 1997. – 176 с.
234. Михайлов, В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее / В.Н. Михайлов. – М.: ГЕОС, 1997. – 413 с.
235. Михайлов, В.Н. Гидрология устьев рек / В.Н. Михайлов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. – 176 с.
236. Михайлов, В.Н. Новый подход к определению и типизации эстуариев / В.Н. Михайлов, С.Л. Горин, М.В. Михайлова // Вестник Московского университета. – 2009. – Серия 5, География. – № 5. – С. 3–11.
237. Михайлов, В.Н. Новые определения, районирование и типизация устьевых областей рек и их частей – эстуариев / В.Н. Михайлов, С.Л. Горин // Водные ресурсы. – 2012. – Т. 39, № 3. – С. 243–257.
238. Михайлов В.Н. Основы гидрологии устьев рек: учебное пособие / В.Н. Михайлов, М.В. Михайлова, Д.В. Магрицкий. – М.: ООО «Изд-во Триумф», 2018. – 316 с.

239. Михайлова, М.В. Процессы проникновения морских вод в устья рек / М.В. Михайлова // Водные ресурсы. – 2013. – Т. 40, № 3. – С. 439–455.
240. Морозов, В.И. Течения в Кинбурнском проливе / В.И. Морозов, В.Г. Симов // Труды Государственного океанографического института. – 1987. – Вып. 180. – С. 59–70.
241. Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный документ]. – утв. Приказом президента РФ от 27.07.2001 № 1387. – Режим доступа: <http://federalbook.ru/files/OPK/Soderjanie/OPK-7/VI/Morskaya%20doktrina.pdf>. – (дата обращения 07.03.2018).
242. Найдёнова, В.И. Гидрохимическая характеристика средних и больших рек европейской территории СССР / В.И. Найдёнова. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 295 с.
243. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди. – К.: Державна гідрометеорологічна служба, 2003. – 31 с. – (Відання офіційне).
244. Національний атлас України [Карты, текст]. – К.: ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с.
245. Нгуен Ван Кы. Устьевые области рек Вьетнама / Нгуен Ван Кы. – Одесса: Астропринт, 2004. – 344 с.
246. Нестеров, А.А. Моделирование гидродинамики и процессов переноса в Днепро-Бугском эстуарии / А.А. Нестеров, В.С. Мадерич // Морской гидрофизический журнал. – 2008. – С. 66–77.
247. Нижняя Яна: устьевые и русловые процессы / под ред. В.Н. Коротаева, В.Н. Михайлова, Р.С. Чалова. – М.: ГЕОС, 1998. – 212 с.
248. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Федеральный закон РФ от 21 дек. 1994 № 68 – ФЗ: по состоянию на 8 марта 2015 г. // Гарант. Информационно-правовой портал [Электронный ресурс] / ООО «НПП Гарант-сервис». – М., 2015. – (дата обращения: 05.03.2018).
249. Об аквакультуре (рыболовстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон РФ от 2 июля 2013 № 148 – ФЗ // Гарант. Информационно-правовой портал [Электронный ресурс] / ООО «НПП Гарант-сервис». – М., 2015. – (дата обращения: 05.03.2018).
250. Об охране окружающей среды: Федеральный Закон РФ от 10 янв. 2001 № 7 – ФЗ : принят Гос. Думой РФ 22 авг. 2004. – М.: Норматика, 2014. – 48 с.
251. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения [Электронный документ]: приказ Минсельхоза РФ от 13.12.2016 № 552 (Зарегистрировано в Минюсте РФ 13.01.2017 N 45203). – М. – 153

с. – Режим доступа: <https://minjust.consultant.ru/documents/22231?items=1&page=2>. – (дата обращения: 05.03.2018).

252. Овен, Л.Е. Ихтиофауна черноморских бухт в условиях антропогенного воздействия / Л.Е. Овен, А.Д. Гордина, О.Г. Миронов. – К.: Наукова думка, 1993. – С. 46–66.

253. Овсяный, Е.И. Основные источники загрязнения морской среды Севастопольского региона / Е.И. Овсяный, А.С. Романов, Р.Я. Миньковская [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2001. – Вып. 2. – С. 138–152.

254. Одрова, Т.В. Гидрофизика водоёмов суши / Т.В. Одрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 311 с.

255. Одум, Ю.П. Экология . В 2 т. – Т.1 / Ю.П. Одум; пер. Ю.М. Фролова; под ред. В.Е. Соколова. – М.: Мир, 1986. – 328 с.

256. Осадчиев, А.А. Оценка изменчивости речного стока на основе спутникового мониторинга / А.А. Осадчиев, П.О. Завьялов // Наука Кубани. – 2014. – № 1. – С. 54–59.

257. Осипов, В.И. Опасные экзогенные процессы / В.И. Осипов, В.М. Кутепов, В.П. Зверев [и др.]. – М.: ГЕОС, 1999. – 271 с.

258. Охрана природной среды морей и морских устьев рек : тез. докл. Всесоюз. совещ. 22 – 27 сент. 1986, Владивосток. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. – Т.2. – С. 37–46.

259. Оценка воздействий на окружающую среду (ОВОС) в составе рабочего проекта «Создание глубоководного судового хода Дунай» : отчёт о НИР. – Харьков: УкрНИИЭП, 2003. – С. 189.

260. Пановский, Г.А. Статистические методы в метеорологии / Г.А. Пановский, Г.В. Брайер. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 209 с.

261. Повалишникова, Е.С. Причины проникновения морских вод в реки и его экологические последствия / Е.С. Повалишникова // Вестник Московского университета. – 2001. – № 3. – Сер. 5. География. – С. 20–28.

262. Покровский, С.Г. Состояние геосистем и устойчивость регионального развития / С.Г. Покровский // Вестник Московского университета. – 2001. – № 1. – Сер. 5. География. – С. 11–15.

263. Положение о сборе сведений и порядке предупреждений об особо опасных гидрометеорологических явлениях . – М.: Гидрометеиздат, 1972. – 20 с.

264. Положение о порядке составления и передачи предупреждений о возникновении стихийных (особо опасных) гидрометеорологических и гелиогеофизических явлений и экстремально высоком загрязнении природной среды . – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 32 с.

265. Положення про порядок складання та передачі попереджень і донесень про виникнення стихійних явищ, різних змін погоди, поєднання небезпечних явищ та випадків екстремально високого забруднення природного середовища . – Київ, 1994. – 33 с. – (Відання офіційне).

266. Полонский, А.Б. О причине понижения температуры поверхностного слоя Черного моря / А.Б. Полонский, Е.Н. Воскресенская // Доповіді Національної академії наук України. – 2003. – № 12. – С. 108–111.
267. Полонский, В.Ф. Гидролого-морфологические процессы в устьях рек и методы их расчёта / В.Ф. Полонский, Ю.В. Лупачёв, Н.А. Скриптунов. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 382 с.
268. Попов, Г.И. Новые данные по стратиграфии донных отложений Днепровского лимана / Г.И. Попов, Б.Г. Еськов // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. – 1986. – № 55. – С. 94–97.
269. Постановление Правительства РФ от 7 июля 2011 г. № 555 о Федеральной целевой программе «Снижение рисков и смягчение последствий ЧС природного и техногенного характера в РФ до 2015 г. (с изменениями на 25.04.2015 г.)» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс] / Консорциум «Кодекс». – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902291695> – (дата обращения: 05.03.2018).
270. Потипун, В.И. Изучение некоторых вопросов самоочищения черноморских вод от детергента (первичного алкилсульфата) методом моделирования / В.И. Потипун // Труды Государственного океанографического института. – 1978. – Вып. 145. – С. 78–82.
271. Потоцкий, П.Н. Изыскания в устьях р. Днепра / П.Н. Потоцкий // Труды отдела торговых портов. – 1912. – Вып. XXX. – С. 312–321.
272. Пояснительная записка. Водохозяйственные расчёты Чернореченского водохранилища : отчёт о НИР. – Симферополь: ЗАО «Крымниопроект», 1998. – 30 с.
273. Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду // Яцик А.В., Томільцева А.І., Яцик М.В., Томільцев М.Г., Волошкіна О.С. та ін. – К.: Генеза, 2001. – 180 с.
274. Природопользование на черноморском побережье Западного Крыма: современное состояние и перспективы развития / В.А. Иванов, В.П. Ястреб, Ю.Н. Горячкин [и др.]; под. ред. В.А. Иванова. – Севастополь, 2006. – 324 с.
275. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25 червня 1991 № 1264 – XII : ухвалений Верхов. Радою України 1 лип. 1991 р.: за станом на 20 верес. 2006 р. – К.: Парламентське вид-во, 2006. – 200 с.
276. Прусов, А.В. Резерв пресноводных ресурсов Севастопольского региона / А.В. Прусов, Р.Я. Миньковская, И.А. Овчаренко // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа: сб. науч. тр. Морского гидрофизического института НАНУ. – 2009. – Вып. 19. – С. 143–153.
277. Пустыльник, Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.И. Пустыльник. – М.: Наука, 1968. – 288 с.
278. Р 54.24.756-2011 (Рекомендации). Критерии оценки опасности токсического загряз-

нения поверхностных вод суши при чрезвычайных ситуациях (в случаях загрязнения) . – Р-н-Д.: Росгидромет, ФГБУ ГХИ, 2011. – 43 с.

279. Р 52.24.763-2012 (Рекомендации). Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей . – Р-н-Д.: Росгидромет, ФГБУ ГХИ, 2012. – 26 с.

280. Р 52.24.776-2012 (Рекомендации). Оценка антропогенной нагрузки и риска воздействия на устьевые области рек с учётом их региональных особенностей . – Р-н-Д.: Росгидромет, ФГБУ ГХИ, 2012. – 10 с.

281. РД 52.08.23-84 (Руководящий нормативный документ). Учёт поверхностных вод суши по качественным показателям: Охрана природы. Гидросфера . – Л.: ФОЛ ВФ ГГИ, 1984. – Группа П 69. – 19 с.

282. РД 52.10.324-92 (Руководящий документ). Методические указания. Гидрологические наблюдения и работы на гидрометеорологической сети в устьевых областях рек . – М.: МО Гидрометеоиздата, 1993. – 189 с.

283. РД 52.04.563-2002 (Руководящий документ). Инструкция. Критерии опасных гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения . – СПб: Гидрометеоиздат, 2002. – 33 с.

284. РД 52.24.643-2002 (Руководящий нормативный документ). Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям . – СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. – 55 с.

285. РД 52.88.699-2008 (Руководящий документ). Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений . – М.: Росгидромет, 2008. – 30 с.

286. РД 52.27.724-2009 (Руководящий документ). Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения . – Обнинск: ИГ–СОЦИН, 2009. – 66 с.

287. РД 52.24.748-2010 (Руководящий документ). Усовершенствованная методика определения выноса (переноса) загрязняющих веществ с речным стоком . – Р-н-Д.: Росгидромет, ФГБУ ГХИ, 2010. – 69 с.

288. РД 52.04.563-2013 (Руководящий документ). Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями . – СПб.: Гидрометеоиздат, 2013. – 52 с.

289. РД 52.24.309-2016 (Руководящий документ). Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши [Электронный ресурс]. – Консорциум Кодекс: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/495872993>. – (дата обращения: 16.05.2018).

290. Рекомендации по расчётам внутригодового распределения стока при строительном проектировании / сост. В.Г. Андреянов; под ред. К.П. Воскресенского. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 72.

291. Репетин, Л.Н. Ветры и волнение в прибрежной зоне юго-западной части Крыма / Л.Н. Репетин, В.Н. Белокопытов, М.М. Липченко // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: сб. науч. тр. Морского гидрофизического института НАНУ. – 2003. – Вып. 9. – С. 13–28.
292. Рогов, М.М. Гидрология дельты Амударьи / М.М. Рогов. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – 255 с.
293. Рогов, М.М. Гидрология устьевой области Западной Двины / М.М. Рогов, В.В. Ромашин, Б.В. Штейнбах. – М.: Гидрометеиздат, 1964. – 345 с.
294. Рогов, М.М. Гидрология устьевой области Амударьи / М.М. Рогов, С.С. Ходкин, С.К. Ревина. – М.: Гидрометеиздат, 1968. – 268 с.
295. Родионов, Н.А. Гидрология устьевой области Дона / Н.А. Родионов. – М.: Гидрометеиздат, 1958. – 95 с.
296. Рождественский, А.В. Статистические методы в гидрологии / А.В. Рождественский, А.И. Чеботарёв. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.
297. Рождественский, А.В. Оценка точности гидрологических расчётов / А.В. Рождественский, А.В. Ежов, А.В. Сахарюк. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 280 с.
298. Розенгурт, М.Ш. Течії Дніпровсько-Бузького лиману та їх сезонна мінливість / М.Ш. Розенгурт // Наукові записки Одеської біологічної станції. – 1962. – Вып. 4. – С. 61–65.
299. Розенгурт, М.Ш. Перспективы и методы исследования водо- и солеобмена Днепровского лимана с Чёрным морем / М.Ш. Розенгурт, Д.М. Толмазин. – К.: Наукова думка, 1971. – 45 с.
300. Розенгурт, М.Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов / М.Ш. Розенгурт. – К.: Наукова думка, 1974. – 224 с.
301. Рубель, О.Е. Эконология ветландов / О.Е. Рубель. – Кишинёв: Есо-TIRAS, 2009. – 252 с.
302. Рубинштейн, Е.С. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. Однородность метеорологических рядов во времени и пространстве в связи с исследованием изменения климата / Е.С. Рубинштейн. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 80 с.
303. Руководство по гидрологическому исследованию морских устьев рек . – М.: Гидрометеиздат, 1965. – 340 с.
304. Руководство по гидрологическим исследованиям в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях . – М.: Гидрометеиздат, 1972. – 396 с.
305. Руководство по гидрологическим расчётам при проектировании водохранилищ . – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 284 с.
306. Руководство по климатологической практике . – ВМО, 2014. – 158 с.

307. Русин, И.Н. Профильная гидродинамическая модель галоклина в Обской губе / И.Н. Русин, А.З. Святский // Труды Арктического и антарктического научно-исследовательского института. – 1983. – Вып. 378. – С. 88–97.
308. Рычагов, Г.И. Общая геоморфология / Г.И. Рычагов. – М.: Изд-во. Моск. ун-та «Наука». – 2006. – С. 416.
309. Савоськин, В.М. Уточнение составляющих баланса нефтепродуктов на основе данных мониторинга Чёрного моря / В.М. Савоськин, Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов // Системы контроля окружающей среды: сб. науч. тр. Морского гидрофизического института НАНУ. – 2002. – С. 436–439.
310. Самойленко, В.С. Современная теория океанического испарения и её практическое применение / В.С. Самойленко // Труды Государственного океанографического института. – 1952. – Вып. 21. – С. 3–31.
311. Самойлов, И.В. Устья рек / И.В. Самойлов. – М.: Географгиз, 1952. – 528 с.
312. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод / Министерство здравоохранения России: официальное издание. – М.: Минздрав России, 2000. – 24 с. – (Нормативный документ).
313. Сафьянов, Г.А. Эстуарии / Г.А. Сафьянов. – М.: Мысль, 1987. – 189 с.
314. Северо-западная часть Черного моря: биология и экология. – К.: Наукова думка, 2006. – 700 с.
315. Симов, В.Г. Расчёт некоторых характеристик гидрологического и гидрохимического режима устьевых объектов по натурным данным / В.Г. Симов, Л.Н. Репетин // Труды Государственного океанографического института. – 1978. – Вып. 142. – С. 100–105.
316. Симов, В.Г. Расчёт распределения стока воды в устьях рек для оценки их загрязнения (на примере устья Днепра) / В.Г. Симов, Е.С. Гринько // Труды Государственного океанографического института. – 1978. – Вып. 145. – С. 28–34.
317. Симов, В.Г. Солёность Днепро-Бугского лимана и возможные изменения её после зарегулирования стока Днепра / В.Г. Симов // Труды Государственного океанографического института. – 1984. – Вып. 172. – С. 19–28.
318. Симов, В.Г. Влияние течений и водообмена на экологию Днепровского и Бугского лиманов / В.Г. Симов, Р.П. Черёмина // Совершенствование управления развитием рекреационных систем: мат. конф. 23–25 октября 1986 г. – Севастополь: Морской гидрофизический институт УССР, 1987. – С. 377–384. – Деп. В ВИНТИ 11.03.87, № 5804 – В – 87.
319. Симов, В.Г. Метод расчёта выноса загрязняющих веществ реками в приёмный водоём / В.Г. Симов. – Севастополь: МО УкрНИГМИ, 1993. – 13 с. – Рус. – Деп. В ГНТБ Украины 04.11.1996, № 2165 – Ук 96.

320. Симов, В.Г. Обменные процессы в проливах между эстуариями и морями / В.Г. Симов, В.И. Морозов, И.Н. Фомина. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2016. – 172 с.
321. Симонов, А.И. Гидрология устьевой области Кубани / А.И. Симонов. – М.: Гидрометеиздат, 1958. – 140 с.
322. Симонов, А.И. Гидрология и гидрохимия устьевого взморья / А.И. Симонов. – М.: Гидрометеиздат, 1969. – 232 с.
323. Синицына, Н.Н. Влияние загрязняющих стоков на морские экологические системы Черного моря и поиск методов их расчета и контроля / Н.Н. Синицына [и др.] // Диагноз состояния экосистемы Черного моря и зоны сопряжения суши и моря: сб. трудов науч. конф. 29 сент.– 03 окт. 1997 г., Севастополь–Кацивели. – Севастополь: Морской гидрофизический институт НАНУ, 1997. – С. 81–85.
324. Скриптунов, Н.А. Течения на устьевом взморье Дона (Таганрогский залив) / Н.А. Скриптунов // Труды Государственного океанографического института. – 1978. – Вып. 139. – С. 43–57.
325. Скриптунов, Н.А. Основные закономерности гидрологического режима неприливых устьевых взморьев / Н.А. Скриптунов // Труды Государственного океанографического института. – 1978. – Вып. 142. – С. 25–33.
326. Скриптунов, Н.А. Процессы проникновения осолонённых вод из моря в неприливые устья рек / Н.А. Скриптунов, Ю.В. Лупачёв // Труды Государственного океанографического института. – 1982. – Вып. 161. – С. 68–86.
327. Скриптунов, Н.А. Методика построения схем течений на устьевом взморье по эмпирическим материалам / Н.А. Скриптунов. – М.: МО Гидрометеиздата, 1985. – 32 с. – (Методическое письмо).
328. Слатинский, Ю.Г. Материалы и статьи по гидрологическому режиму Днепро-Бугского лимана / Ю.Г. Слатинский. – Севастополь: ГМО ЧАМ, 1962. – 40 с.
329. Слатинский, Ю.Г. Об обмене вод между Днепро-Бугским лиманом и Чёрным морем / Ю.Г. Слатинский. – М.: Наука, 1967. – С. 48–50. – (В кн.: Гидрофиз. и гидрохим. исследования в Чёрном море).
330. СНиП 2.06.04–82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) : Актуализированная редакция (СП 38.13330.2012) – М.: Министерство регионального развития РФ, 2014. – 123 с.
331. СНиП 2.06.15–85. Инженерная защита территории от затопления и подтопления : Актуализированная редакция (СП 104.13330.2016) – М.: Технорматив, 2017. – 28 с.
332. Совга, Е.Е. Загрязняющие вещества и их свойства в природной среде: учебное пособие для студ. высш. учебн. завед. / Е.Е. Совга; Морской гидрофизический институт НАНУ, ЧФ МГУ им. М.В. Ломоносова. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2005. – 238 с.

333. Совга, Е.Е. К вопросу об ассимиляционной ёмкости экосистем импактных районов украинского шельфа / Е.Е. Совга, И.В. Мезенцева // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа: сб. науч. тр. Морского гидрофизического института НАНУ. – 2009. – Вып. 20. – С. 153–159.
334. Справочник по климату Чёрного моря . – М.: Гидрометеиздат, 1974. – 408 с.
335. Степанов, В.Н. Чёрное море. Ресурсы и проблемы / В.Н. Степанов, В.Н. Андреев. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 160 с. (Природно-антропогенное районирование).
336. Страбон. География . В 17 кн. Кн. 7 / Страбон; пер. Г.А. Стратановского, под ред. С.Л. Утченко. – М.: Наука, 1964. – С. 265–284.
337. Сударев, В.А. Возобновляется судовой ход «Дунай – Черное море»: Право на конкуренцию / Сударев В.А. [Электронный ресурс] // Порты Украины – 2004. – № 04 (48). – Режим доступа: <http://portsukraine.com/node/1222>. – (дата обращения: 05.03.2018).
338. Судоходные соединения Дуная: каналы Килийского гирла [Электронный ресурс] // Порты Украины – 2006. – № 05 (61). – Режим доступа: <http://portsukraine.com/node/805>. – (дата обращения: 05.03.2018).
339. Супруненко, В.Ю. Стратегия решения экологических проблем. В 2 т. – Т. 2 : отчёт о НИР / В.Ю. Супруненко, Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов // Комплексная программа охраны окружающей природной среды, рационального использования природных ресурсов и экологической безопасности г. Севастополя на период до 2010 г. – Севастополь, 2001. – С. 220–228.
340. Тайченачев, Д.В. Характеристика абиотических компонент экологического состояния акватории порта Николаев / Д.В. Тайченачев, Р.Я. Миньковская, А.Н. Демидов // Экология моря. Понт Эвксинский II : Тр. конф. молодых учёных, 18–20 сент. 2001 г., Севастополь. – Севастополь: ИнБЮМ НАНУ, 2002. – С. 127–131.
341. Тимченко, В.М. Эколого-гидрологические исследования водоёмов северо-западного Причерноморья / В.М. Тимченко. – К.: Наукова думка, 1990. – 240 с.
342. Тимченко, В.М. Экологическая гидрология водоёмов Украины / Тимченко В.М. – Киев: Наукова думка, 2006. – 384 с.
343. Толмазин, Д.М. Гидролого-гидрохимическая структура вод в районах гипоксии и заморов северо-западной части Чёрного моря / Д.М. Толмазин // Биология моря. – 1977. – № 43. – С. 12–16.
344. Третьяков, М.В. К моделированию гидрологических процессов в эстуариях с ледовым покровом / М.В. Третьяков. – СПб.: ГНЦ РФ ААНИИ, 2008. – № 2 (79) – С. 67–74. – (Ротапринт / ААНИИ «Проблемы Арктики и Антарктики»).
345. Тучковенко, Ю.С. Математическая модель формирования термохалинной структуры и циркуляции вод в лиманах, приустьевых и шельфовых областях северо-западной части

Чёрного моря / Ю.С. Тучковенко // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2003. – Вып. 9. – С. 138–153.

346. Тучковенко, Ю.С. Трёхмерная математическая модель качества вод Днепровско-Бугского приустьевых района северо-западной части Чёрного моря / Ю.С. Тучковенко // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2005. – Вып. 12. – С. 374–391.

347. Указания по определению нижнего уровня разлива нефти и нефтепродуктов для отнесения аварийного разлива к чрезвычайным ситуациям (утв. Приказом № 156 МПР РФ от 03.03.2003, рег. № 4516 в Минюсте РФ от 08.03.2003) [Электронный ресурс] // Информационно-правовой портал «Гарант.ру». – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12130812/> – (дата обращения: 05.03.2018).

348. Украинский, В.В. Климатические и гидрофизические условия развития гипоксии вод на северо-западном шельфе Черного моря / В.В. Украинский, Ю.И. Попов // Морской гидрофизический журнал, 2009. – № 3. – С. 19–29.

349. Україна. Екологічні проблеми атмосферного повітря [Карта] / сост. В.А. Барановський; підгот. к від. Київською військово-картографічною фабрикою в 2000 р. – К. : Центр екологічної освіти та інформації, ВКФ ТС ЗС України, 2000. – 1 : 2 000 000.

350. Україна. Екологічні проблеми природних вод [Карта] / сост. В.А. Барановський, В.Г. Бардов, С.Т. Омельчук; підгот. к від. Київською військово-картографічною фабрикою в 2000 р. – К. : Центр екологічної освіти та інформації, ВКФ ТС ЗС України, 2000. – 1 : 2 000 000.

351. Україна. Екологічна небезпека [Карта] / В.А. Барановський, І.М. Підкаміний; підгот. к від. Київською військово-картографічною фабрикою в 2001 р. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, ВКФ ТС ЗС України, 2001. – 1 : 3 000 000.

352. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря / под ред. В.Ф. Полонского, В.Н. Михайлова, С.В. Кирьянова . – М.: ГЕОС, 1998. – 400 с.

353. Фащук, Д.Я. Эколого-географические основы морского природопользования / Д.Я. Фащук. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2010. – 240 с.

354. Фёдоров, К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов / К.Н. Фёдоров. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 296 с.

355. Харченко, Т.А. Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов / Т.А. Харченко, В.М. Тимченко, А.А. Ковальчук [и др.]. – К.: Наукова думка, 1993. – 328 с.

356. Хельсинские правила использования вод международных рек (Хельсинки, 20.08.1966): [Электронный ресурс] / разработаны и приняты Ассоц. междунар. права. – Консорциум Кодекс: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим

доступа: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1900698> (дата обращения: 14.03.2018).

357. Хлебович, В.В. Критическая солёность биологических процессов / В.В. Хлебович. – Л.: Наука, 1974. – 236 с.

358. Хлебович, В.В. Прикладные аспекты концепции критической солёности / В.В. Хлебович // Успехи современной биологии. – 2015. – Т. 135, № 3. – С. 272–278.

359. Хоролич, Н.Г. Расчёт водообмена мелководного залива (бухты) с морем / Н.Г. Хоролич // Труды Государственного океанографического института. – 1986. – Вып. 168. – С. 113–118.

360. Целесообразность ликвидации дамбы на озере Сасык обсудили в Одессе: I заседание Межведомственной комиссии по решению вопроса целесообразности ликвидации дамбы на озере Сасык в Одесской области [Электронный ресурс] // Информационное агентство «Контекст-Причерноморье» – 20.11.2010. – Режим доступа:

<http://www.prichernomorie.com.ua/odessa/articles/ecology/2010-11-20/542.php>. – (дата обращения: 05.03.2018).

361. Цурикова, А.П. Гидрохимия Азовского моря / А.П. Цурикова, Е.Ф. Шульгина. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 260 с.

362. Чарыков, А.К. Математическая обработка результатов химического анализа / А.К. Чарыков. – Л.: Химия, 1981. – 168.

363. Чернореченское водохранилище (водохозяйственный паспорт) [Текст, карты]: отчёт о НИР. – Симферополь: ЗАО «Крымниопроект», 1997. – 19 с.

364. Шапарь А.Г. Особенности влияния техноэкосистемы бассейна р. Днепр на шельф Чёрного моря / Шапарь А.Г., Скрипник О.А., Емец Н.А. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2013. – 327. – С. 231–237.

365. Швець, Г.І. Стік Дніпра нижче Києва / Г.І. Швець. – К.: Вид. АН УРСР, 1957. – 128 с.

366. Швець, Г.І. Многовековая изменчивость стока Дніпра / Г.І. Швець. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 84 с.

367. Шпигельман Я.Е. Водный транспорт Украины сквозь призму статистики [Электронный ресурс] / Я.Е. Шпигельман // Порты Украины, Плюс № 3 (135), 2014. – Режим доступа: <http://portsukraine.com/node/3640> – (дата обращения: 05.03.2018).

368. Шуйский, Ю.Д. Природа Причерноморских лиманов / Ю.Д. Шуйский, Г.В. Выхованец. – Одесса: Астропринт, 2011. – 276 с.

369. Щетников, А.И. Портуланы – морские карты XIV–XVI веков [Текст, Карты] / А.И. Щетников // ΣΧΟΛΗ. – 2015. – Т. 9, Вып. 1. – С. 24–34.

370. Щукин, И.С. Общая геоморфология / И.С. Щукин. – М.: Изд. Москов. ун-та, 1974. – Т. III. – 383 с.

371. Шукин, И.С. Четырёхязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии / И.С. Шукин. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 703 с.
372. Экосистема взморья украинской дельты Дуная. – Одесса: Астропринт, 1998. – 332 с.
373. Экосистема Нижнего Днестра в условиях усиленного антропогенного воздействия / под ред. Г.Г. Горбатенького. – Кишинёв: Штиинца, 1990. – 259 с.
374. Экстремальные гидрологические ситуации / отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева. – М.: Медиа-Пресс, 2010. – 464 с.
375. Эстуарно-дельтовые системы России и Китая: гидролого-морфологические процессы, геоморфология и прогноз развития / под ред. В.Н. Коротаева, В.Н. Михайлова, Д.Б. Бабича, Ли Цзунсяна и Лю Шугуана. – М.: ГЕОС, 2007. – 445 с.
376. Якість води. Словник термінів : ДСТУ ISO 6107-1:2004 – ДСТУ ISO 6107-9:2004. – Чинний від 2005-04-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національні стандарти України).
377. Arons, A.B. A mixing-length theory of tidal flushing / A.B. Arons, H. Stommel // Trans. Amer. Geophysical Union. – 1951. – Vol. 32, №. 3. – P. 419–421.
378. Bird, E.C.F. Coasts: an introduction to coastal geomorphology / E.C.F. Bird. – Oxford: Basil Blackwell, 1984. – 302 p.
379. Bowman, M.I. Spreading and Mixing of the Hudson River effluent into the New York Bight / M.I. Bowman // Hydrodynamics of Estuaries and Fjords / Nihoul, J.C.J. (Ed.). – Elsevier Science, 1978. – Vol. 23. – P. 373–386.
380. Brito, A.C. A Changing Definition of Estuary? Adjusting Concepts to Intermittently Closed and Open Coastal Systems [Электронный ресурс] / A.C. Brito // J. of Ecosystem & Ecography. – 2012, vol. 2. – iss. № 1. – e.106, doi:10.4172/2157-7625/1000e106. – Режим доступа: <https://www.omicsonline.org/a-changing-definition-of-estuary-adjusting-concepts-to-intermittently-closed-and-open-coastal-systems-2157-7625.1000e106.pdf>. – (дата обращения: 05.03.2018).
381. Cade, H.G. On some oceanographic observations in the southeastern Caribbean Sea and the adjacent Atlantic Ocean with special reference to the influence of the Orinoco River / H.G. Cade. – Bol. Inst. Oceanogr. Univer. Oriente, 1961, vol.1. – P. 289–342.
382. Cameron, W.M. Estuaries / W.M. Cameron, D.W. Pritchard // The Sea. – N.Y.: John Wiley & Sons, 1963. – Vol. 2. – P. 306–324.
383. Cociasu, A. Long-term ecological changes in Romanian coastal waters of the Black Sea / A. Cociasu, L. Dorogan, C. Humborg [etc.] // Marine Pollution Bulletin. – 1996, (32). – P. 32–38.
384. Crane, J.R. Estuaries: types, movement patterns and climatical impacts / J.R. Crane, A.E. Solomon. – N.-Y.: Nova Science Publishers, 2010. – 329 p.

385. Day, J.H. The nature, origin and classification of estuaries / J.H. Day // *Estuarine ecology with particular reference to Southern Africa*. – Rotterdam: A.A. Balkema, 1981. – P. 1–6.
386. Dyer, K.R. Coastal and estuarine sediment dynamics / K.R. Dyer. – N.Y.: Wiley-Interscience Publ., 1986. – 342 p.
387. Dyer, K.R. Estuaries: a physical introduction / K.R. Dyer. – Chichester: John Wiley & Sons, 1997. – 195 p.
388. Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure / C. Humborg, V. Ittekkot, A. Cosiasu [etc.] // *Nature*. – 1997. – № 386. – P. 385–388.
389. Elliot, M. The need for definitions in understanding estuaries / M. Elliot, D.S. McLusky // *Estuarine, Coast. Shelf Science*. – 2002. – Vol. 55. – P. 815–827.
390. El-Sabh, M.J., Silveberg, N. Oceanography of a Large-Scale Estuarine System: The St. Lawrence / M.J. El-Sabh, N. Silveberg (Eds.). – N.-Y., 1990: Springer-Verlag. – 434 p.
391. Encyclopedia of Coastal Science: Series «Encyclopedia of Earth Sciences Series» / Schwartz, M. (Ed.). – Springer, 2005. – XXXV. – 1211 p.
392. Evans, J. Rias, estuaries and incised valleys: is a ria an estuary? / J. Evans, R. Prego // *Marine Geol.* – 2003. – Vol. 196. – P. 171–175.
393. Extended time series of Solar Activity Indices (ESAI): Central astronomical observatory at Pulkovo of Russian Academy of Sciences [Электронный ресурс] / Dr. Yury Nagovitsyn. – Режим доступа: <http://www.gao.spb.ru/database/esai>. – (дата обращения: 05.03.2018).
394. Fairbridge, R. W. The estuary: its definition and geochemical role / R.W. Fairbridge // *Chemistry and geochemistry of estuaries*. – N.Y.: John Wiley, 1980. – P. 1–35.
395. Garvine, R.W. Dynamics of small-scale oceanic fronts / R.W. Garvine. – *J. Phys. Oceanogr.*, 1974. – Vol. 4, № 4. – P. 557–569.
396. Giosan, L. River Delta morphodynamics: Examples from the Danube Delta / L. Giosan, J.P. Donnelly, E. Vespremeanu [etc.] // *SEPM (Society for Sedimentary Geology)*. – 2005. – № 83. – P. 393–441.
397. Hansen, D.V. New dimensions in estuary classification / D.V. Hansen, M. Rattray // *Limnol. and Oceanogr.* – 1966. – Vol.10, № 3. – P. 319–326.
398. Harleman, D. Stratified Flow / D. Harleman // *Handbook of Fluid Dynamics* (V. Streeter, Ed.). – New York: McGraw-Hill, 1961. – Ch. 26. – P. 11–34.
399. Herdendorf, C.E. Large lakes of the world / C.E. Herdendorf // *J. Gr. Lakes Res.*, 1982. – № 8 (3). – P. 379–412.
400. Ilyin, Y.P. Riverine discharge of Nutrients in the Black Sea from 1968 to 1998 / Y.P. Ilyin, R.Ya. Minkowskaya, A.N. Demidov // *The Black Sea Ecological Problems: Black Sea Strategic Action Plan Implementation: Int. Symposium, (1996 – 2000)*. – Odessa: SCSEIO, 2000. – P. 18–22.

401. Ippen, A.T. One-dimensional Analysis of Salinity Intrusion in Estuaries / A.T. Ippen, D.R.F. Harleman // Technical Bulletin: Committee on Tidal Hydraulics: (U.S. Army, Corps of Engineers). – Vicksburg, Mississippi: Waterways Experiment Station, 1961. – № 5. – 52 p.
402. James, I.D. A model of the annual cycle of temperature in a frontal region of the Celtic Sea / I.D. James // Estuar. Coastal. Mar. Sci. – 1977. – № 5. – P. 339–353.
403. James, I.D. A note on the circulation induced by a shallow-sea front / I.D. James // Estuar. Coastal. Mar. Sci. – 1978. – № 7. – P. 197–202.
404. Ketchum, B.H. The exchange of fresh and salt water in tidal estuaries / B.H. Ketchum // J. of Marine Research. – 1951. – Vol. 10, № 1. – P. 18–38.
405. Ketchum, B.H. Estuarine characteristics / B.H. Ketchum // Estuaries and enclosed seas. – N.Y.: Elsevier Scientific Pub. Co, 1983. – Vol. XII, s. 26. – P. 1–14.
406. Keulegan, G.H. An experimental study of the motion of saline water from locks into fresh water canals / G.H. Keulegan // US National Bureau of Standards. – 1959. – March. – P. 382–387.
407. Klemas, V. Remote sensing of coastal fronts and their effects on oil dispersion [Текст, карты] / V. Klemas // Int. J. of Remote Sensing, 1980. – Vol. 1, № 1. – P. 11–28.
408. Kretschmer, Konrad. Die italienischen Portolane des Mittelalters: ein Beitrag zur Geschichte der Kartographie und Nautik [Текст, Карта]. – Berlin: E.S. Mitter und Sohn, [1909]. – P. 705.
409. Larras, J. Embouchures, estuaires, lagunes et deltas / J. Larras // Collection du Centre de recherches et d'essais de Chatou. – Paris: Eyrolles, 1964. – 172 p.
410. Lauff, G.H. [Ed.] Estuaries / G.H. Lauff // American Assoc. Adv. Shi. – Washington, D.C, 1967. – Publ. № 83. – 757 p.
411. Lospinas, F. Impacts of recent climate change on the hydrology of coastal Mediterranean rivers in Southern France / F. Lospinas, W. Ludwig, S. Heussner // Climatic Change, 2010. – P. 425–456.
412. Ludwig, W.W. River discharges of water and nutrients to the Mediterranean and Black Sea: Major drivers for ecosystem changes during past and future decades? / W.W. Ludwig, E. Dumont, M. Meybeck [etc.] // Progress in Oceanography. – 2009. – Vol. 80, (3–4), March. – P. 199–217.
413. McGinnis, D.F. Silica retention in the Iron Gate I reservoir on the Danube River: The role of side bays as nutrient sinks / D.F. McGinnis, S. Bocaniov, C. Teodoru [etc.] // River Research and Applications. – 2006. – № 22. – P. 441–456.
414. Mellor, G.L. Users' guide for a three – dimensional, primitive equation, numerical ocean model / G.L. Mellor. – Princeton: Princeton University, 2004. – 56 p. – (Preprint/ Princeton University «Program in Atmospheric and Oceanic Sciences»; NJ 08544-0710).
415. Milliman, J.D. River Discharge to the Coastal Ocean: A Global Synthesis / John D. Milliman, Katherine L. Farnsworth. – N. Y.: Cambridge Univ. Press, 2013. – 394 p.

416. Nguyen Anh Duc. Salt intrusion, tides and mixing multi-channel estuaries: synopsis Dissertation submitted in fulfillment of the requirements of the Board for Doctorates of Delft University of Technology / Nguyen Anh Duc. – Leiden: Taylor & Francis, 2008. – 156 p.
417. Officer, Ch.B. Physical oceanography of estuaries (and associated coastal waters) / Ch.B. Officer. – N.Y.: Wiley-Interscience Publ., 1976. – 465 p.
418. Panin, N. General Oceanographic Properties: Geography, Geology and Geochemistry State of the Environment of the Black Sea (2001–2006/7) / Ed. T. Oguz // Commission on the Black Sea Against Pollution (BSC). – Istanbul, 2008. – 1B. – P. 53–73.
419. Pethick, J.S. Shoreline adjustments and coastal management: physical and biological processes under accelerated sea level rise / J.S. Pethick // The Geographical Journal. – 1993. – Vol. 159. – P. 162–168.
420. Prandle, D. New typologies for estuarine morphology / D. Prandle, A. Lane, A.J. Manning // Geomorphology, 2006. – 81 (3–4). – P. 309–315.
421. Prandle, D. Estuaries: Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology / Prandle D. – New York: Cambridge University Press, 2009. – 248 p.
422. Pritchard, D.W. Estuarine hydrography / D.W. Pritchard // Adv. Ecophys. – 1952. – № 1. – P. 243–280.
423. Pritchard, D.W. Estuarine circulation patterns / D.W. Pritchard // Proc. ASCE. – 1955. – Vol. 81, Sep. № 717 – P. 1–11.
424. Pritchard, D.W. What is an estuary: physical viewpoint / D.W. Pritchard // Estuaries, – Washington: Am. Ass. Adv. Sci., 1967. – Publ. 83. – P. 3–5.
425. Rivers of Europe [Text, Maps, Photos] / edited by K. Tockher, U. Uehlinger, Ch. T. Robinson. – London: Acan. Press is an imprint of Elsevier, 2009. – 728 p.
426. Romanescu, Gh. Morphology and Dynamics of the Danube Delta Littoral between the Sulina and Sfântu Gheorghe Rivers Mouths (Romania) / Gh. Romanescu. – Pontica, Constsța. – 2010. – Vol. 2. – P. 515–531.
427. Schubel, J.R. What is an estuary? / J.R. Schubel, D.W. Pritchard // Estuarine environment. – Washington: Amer. Ecol. Inst., 1971. – P. 1–11.
428. Schubel, J.R. The Estuarine environment: estuaries and estuarine sedimentation / J.R. Schubel // AGI, 1973. – Part. 1. – 301 p.
429. Schubel J.R. Great Lakes estuaries – Phooey / J.R. Schubel, D.W. Pritchard // Estuaries. – 1990. – V. 13, № 4. – P. 508–509.
430. Scott, J.L. Sediment transport study along a delta shoreline / J.L. Scott // Bulletin of the Association of Engineering Geologist. – 1982. – Vol. XIX, № 02. – P. 101–116.

431. Sinitsina, N.N. Influence of riverine inputs on the sea environment and their calculation / N.N. Sinitsina, R.Ya. Minkovskaya, A.N. Demidov // IOC-BSPC, Workshop: Black sea fluxes, 10–12 June 1997. – Istanbul, 1997. – P. 2–6.
432. Smith, T. J. A mathematical model for partially mixed estuaries using the turbulence energy equation / T.J. Smith, H.S. Takhar // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. – 1981, Vol. 13. – P. 27–45.
433. Sorokin, Yu.I. *The Black Sea Ecology and Oceanography* / Yu.I. Sorokin– Leiden: Backhays Publ., 2002. – 875 p.
434. *State of the Environment of the Black Sea (2001–2006/7)* / Ed. T. Oguz. – Istanbul: BSC, 2008. – 421 p.
435. Teodoru, C. Biogenic silica accumulation in the sediments of the Iron Gate I reservoir on the Danube River / C. Teodoru, A. Dimopoulos, B. Wehrli // *Aquatic Sciences*. – 2006, № 68. – P. 469–481.
436. Trenberth, K.E. *Observations: Surface and Atmospheric Climate Change* / K.E. Trenberth, P.D. Jones, P. Ambenje [etc.]; In: Solomon S., Qin D., Manning M., etc. (Eds.). – Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 310 p. – (Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change).
437. Turner, R.E. Global patterns of dissolved N, P and Si in large rivers / R.E. Turner, N.N. Rabalais, D. Justic [etc.] // *Biogeochemistry*. – 2003. – № (64). – P. 297–317.
438. Vespremeanu, E. The geomorphological evolution of Sulina mouth in the last 200 years / E. Vespremeanu, I. Susiu, Gh. Oancea // *Analele Univ. București: Geogr. Ser.* – 1986. – XLI. – P. 84–89.
439. Welander, P. An advective model of ocean thermocline / P. Welander // *Tellus*, 1959. – 11, № 3. – P. 309–318.

Научное издание

Роза Яковлевна Миньковская

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
РАЗНОТИПНЫХ МОРСКИХ УСТЬЕВ РЕК**

(на примере морских устьев рек северо-западной части Чёрного моря)

Компьютерная верстка О. В. Домниной

Подписано к печати 06.09.2019. Формат 60×84/8.

Усл. печ. л. 42,27. Печать по требованию.