ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ РАЙОНИОВАНИИ БЕРЕГОВ АЗОВСКОГО МОРЯ

А.Е. Цыганкова, Л.А. Беспалова, О.В. Ивлиева, А.А. Магаева

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

aetsyankova@yandex.ru, bespalowaliudmila@yandex.ru, ivlieva.o@mail.ru, a.magaeva@mail.ru

Аннотация. Цель данной работы заключается в комплексном изучении эколого-геологических условий и результатов мониторинговых исследований прибрежных территорий Таганрогского залива и Азовского моря в рамках динамического районирования для выявления показателей при оценке природных рисков. Объектом исследований является сложная система прибрежной зоны, состоящая из подсистем суши, моря и берега, где размещены разнообразные природные ресурсы и взаимодействуют природные, экономические и социальные процессы. Такой объект предполагает не только комплексный (интегрированный) подход к управлению экологической ситуацией и использованием природных ресурсов, но дает и определенные преимущества. Предметом исследования является оценка риска потери территории в результате воздействия различных природных факторов, как постоянных во времени (геологическое строение, высота берегового обрыва), так и изменяющихся (динамика уровня, волнения, ветрового режима).

В рамках этого показано использование динамического подхода для районирования берегов Азовского моря, выполненного на основе комплексного анализа природных и антропогенных факторов, определяющих развитие опасных береговых процессов (ОБП). Все факторы были разделены на две группы: повышающие интенсивность береговых процессов и способствующие снижению их проявления.

Установлено, что гидродинамические факторы в развитии ОБП являются определяющими. Ветровое волнение – самый активный геоморфологический фактор, определяющий процессы абразии и аккумуляцию на берегах Азовского моря. Антропогенное влияние может быть связано как с глобальными и региональными воздействиями, через экосистемные изменения, зарегулирование речного стока, загрязнения среды, так и с локальным – нерациональная берегозащита, промышленная и сельскохозяйственная деятельность в берегозащитной зоне, не санкционированное изъятие пляжевого материала и др.

Ключевые слова. Опасные береговые процессы, скорость абразии, динамическое районирование, берега, Азовское море.

В данной статье представляется новый принцип динамического районирования берегов с применением комплексного анализа природных и антропогенных факторов в формировании ОБП, при балльном ранжировании которых можно оценить их приоритет и вклад в абразионный риск (табл. 1, 2).

Все факторы были разделены на 2 группы: повышающие интенсивность береговых процессов и факторы, способствующие снижению их проявления. Особенности берегов Азовского моря, сложенных преимущественно четвертичными суглинками и глинами, предопределили интенсивное развитие абразионных и абразионно-оползневых берегов. Протяженность аккумулятивных берегов не превышает 10 % общей длины береговой линии.

Морфология и морфометрические характеристики береговых обрывов также влияют на степень проявления ОБП. К ним относятся высота и крутизна берегового склона, его устойчивость. Интенсивность абразии при прочих равных условиях значительно больше в случае высоких обрывистых берегов. Высота берегов Азовского моря изменяется от нескольких метров до 25–30 м, на керченских берегах до 40–50 м, крутизна склонов – от 60° до 90°. Интенсивное разру-

шение фиксируется на берегах, сложенных скифскими глинами и четвертичными суглинками, перед которыми выработана широкая абразионная терраса – глинистый бенч без осадочного чехла, т.к. содержание пляжеобразующей фракции в материале абразии невысокое (от 5 до 30 %). Напротив, широкие песчаные накопления у основания береговых обрывов являются причиной замедления темпа абразии.

Большое значение в формировании рельефа имели голоценовые движения, создавшие фон, на котором климатические, гидрологические и гидродинамические и гидробиологические факторы сформировали типы берегов и дна.

Два основных направления ветра и волнения восточной и западной четверти определяют динамику вод, интенсивность современных береговых процессов в целом для моря и отдельных его регионов. Ориентировка главной оси моря относительно двух основных систем ветра благоприятствуют развитию значительных по величине сгонно-нагонных колебаний уровня, наибольший размах которых зарегистрирован в Таганрогском заливе.

Установлено, что гидродинамические факторы в развитии ОБП являются определяющими.

Таблица 1. Анализ природных факторов формирования опасных береговых процессов

ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБП			
Факторы усиливающие интенсивность абразии		Факторы снижающие интенсивность абразии	
Фактор	Механизм проявления	Фактор	Механизм проявления
Отрицательные тектонические движения	Относительное повышение уровня-выход волн больших параметров к берегу	Положительные тектонические движения	Уменьшение глубины, снижение риска выхода волн больших параметров
Геологическое строение: легкоразмываемые горные породы глины, суглинки, супеси	Не прочные породы при волновом воздействии быстро разрушаются	Геологическое строение: прочные породы, известняки,	Устойчивы к волновому воздействию и размыву
Геологическое строение: дефицит пляжеобразующего материала	Формирование глинистых бенчей- размыв дна, увеличение глубины, усиление волнового воздействие	Геологическое строение: наличие пляжеобразующего материала (песков, гравия, гальки)	Формирование на подводном склоне береговых валов и пляжей – снижение волнового воздействия на берег
Морфология и морфометрия берега: высокие, крутые	Обрывы – обвалы, осыпи, гравитационные процессы	Морфология и морфометрия берега: низкие и пологие берега	Снижение риска проявления гравитационных процессов (обвалов, оползней)
Морфология подводного склона: узкая абразионная терраса со значительными уклонами дна	Выход волн больших параметров интенсивное воздействие на берег	Абразионная терраса: широкая более 1500-м	Обеспечивает снижение параметров волн и волновой энергии
Прислоненные пляжи, узкие пляжи менее 25 м или их полное отсутствие	Не происходит гашение волновой энергии, активное воздействие на берег	Прислоненные пляжи; широкие, более 25 м	Происходит гашение волновой энергии,
Эвстатический подъем уровня моря	Повышение глубины, абразия дна и берегов процессы не затухают	Эвстатическое понижение уровня моря	Для Азовского моря в современный период этот фактор отсутствует
Нагонное повышение уровня, особенно до отметок НЯ и ОЯ,	В период экстремальных подъемов уровня – выход волн больших параметров, интенсивный размыв	Сгоны	Формирование осушки до 100–200 м, воздействие на берег прекращается
Ветровое волнение на нагоне: а) при нормальном угле подхода; б) при остром угле подхода	а) прямое воздействие на берег б) вынос пляжеобразующего материала	Ветровое волнение на сгоне	Волновое воздействие на берега снижается
Воздействие подвижных льдов	Ледовая экзарация под воздействием гидродинамики	Неподвижный лед (припай)	Консервирует берег, предохраняет от размыва
Эрозионная расчлененность береговой зоны высокая (овраги берегового типа)	На берега, разделенных оврагами и балками интенсивность размыва возрастает	Эрозионная расчлененность береговой зоны: а) низкая; б) при наличии песков в береговых обрывах в устьевых частях балок формируются конусы выноса (пляжи)	а) монолитные берега лучше противостоят разрушению; б) снижение воздействия волн

Ветровое волнение – самый активный геоморфологическим фактор, определяющий процессы абразии и аккумуляцию на берегах Азовского моря. Оценена роль эвстатических колебаний уровня, выявлен положительный тренд за период с 1923 г. (0,19 см/год), обуславливающий, в сочетании с преобладающими отрицательными современными тектоническими движениями незатухающий процесс абразии на отмелях азовских берегах (уклоны под-

водного склона не превышают обычно 0,005, ширина абразионной террасы может достигать более 2 км).

Неравномерность развития ОБП в пространстве и во времени обусловлена экстремальными нагонами совместно со штормовым воздействием волн. В связи с глобальными климатическими изменениями, увеличением частоты опасных погодных явлений, ОБП интенсифицировались. Выявлена хорошая корреляционная зависимость

между увеличением скорости отступления берегов и проявлением экстремальных нагонных явлений. В последнее время их повторяемость резко возросла. По наблюдениям на реперной сети все экстремумы по скоростям абразии характерны для 2013–2014 гг. В годы с повышенной активностью проявления ОБП скорости абразии достигали 8–9 м/год, в периоды снижения – менее 0,5 м/год, при средних значениях более 1 м/год.

Воздействие морских льдов на берега Азовского моря изучено недостаточно. При образовании

припая абразии приостанавливается. Но при этом опасным является воздействие стамух, навалов льда, торосов, дрейфующих льдов на берега.

Антропогенное влияние может быть связано как с глобальными и региональными воздействиями, через экосистемные изменения, зарегулирование речного стока, загрязнения среды, так и с локальным – нерациональная берегозащита, промышленная и сельскохозяйственная деятельность в берегозащитной зоне, не санкционированное изъятие пляжевого материала и др. (табл. 2).

Таблица 2. Анализ антропогенных факторов формирования опасных береговых процессов

АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБП			
Факторы, усиливающие интенсивность абразии		Факторы, снижающие интенсивность абразии	
Фактор	Механизм проявления	Фактор	Механизм проявления
Зарегулирование стока Дона, Кубани, задержка твердого стока плотинами на малых реках	Дефицит пляжеобразующего материала, размыв пляжей и других аккумулятивных форм	Подсыпки пляжей	Формирование профиля равновесия
Загрязнение среды обитания	Снижение биомассы моллюсков, уменьшение доли раковинного материала. Размыв аккумулятивных форм	Соблюдение водоохранных мероприятий, очистка сточных вод	Сохранение биогенных аккумулятивных форм, предохраняющих берега от размыва
Распашка прибрежной зоны под обрыв	Усиление эрозионных процессов, нарушение устойчивости склонов	Соблюдение режима водоохранных зон (ВЗ) 500 м и прибрежных защитных полос (ПЗП) 50 м	Снижение негативных воздействий на берега
Создание гидротехнических сооружений при создании портовой инфраструктуры: а) поперечных, б) продольных	а) нарушение движение потока наносов, краевой размыв; б) размыв дна и берегов отраженной волной		
Несанкционированные карьеры: изъятие осадочного материала (песка, ракушки с пляжей)	Нарушение равновесия аккумулятивных форм, уменьшение ширины пляжа	Соблюдение режима водоохранных зон (ВЗ) 500 м и прибрежных защитных полос (ПЗП) 50 м	Снижение негативных воздействий на берега
Строительство на склонах тяжелых конструкций	Утяжеление склонов, нарушение устойчивости, подъем уровня грунтовых вод развитие гравитационных процессов	Соблюдение режима водоохранных зон (ВЗ) 500 м и прибрежных защитных полос (ПЗП) 50 м	Снижение негативных воздействий на берега
Дноуглубительные работы	Подходные каналы – седиментационные ловушки, в том числе и пляжеобразующего материала, перехватывают поток наносов	Дампинг песков на берег и создание пляжей	Защита берега от размыва
Нерациональная берегозащита: а) создание волноотбойных стен и бетонных откосов на суглинистых берегах; б) применение поперечных конструкций типа бун в условиях дефицита потока наносов	а) размыв дна и берегов отраженной волной, б) краевой размыв не выполняет функцию накопления материала и формирование пляжа	Рациональная берегозащита: создание искусственных пляжей, каменной наброски, берм из галечно-гравийного материала	Все эти берегоукрепления хорошо защищают берег от размыва на азовских берегах

Проведено системное описание берегов Азовского моря на основе нового динамического подхода (или по степени интенсивности проявления абразионно-оползневых процессов), т.е. описывались участки, объединенные по одинаковым динамическим типам, основанным на скорости абразии, в которые будут входить подтипы берегов, формируемые экзогенными процессами (абразионные, абразионно-оползневые, аккумулятивные) с указанием условий их формирования и причин районирования береговых участков по опасности проявления береговых процессов (табл. 3, рис. 1) и выполнен анализ таких факторов, как литологический состав, строение и состояние горных пород («Геологическое строение»); высота и крутизна берегового склона («Геометрия склона»), определяющих пространственную неоднородность и разную степень проявления ОБП в современных условиях.

К **ОБП I типа**, для которого характерно очень сильная абразия, отнесены 11 участков береговой зоны (Весело-Вознесенский (1), Боковский (2), Рожковский (3), Золотокосовский (5), Краснодсантовский (8), Маргаритовский (10), Воронцовский (12), Глафировский (13), Должанский (15), Морозовский (17), Ильичовский (21)) общей протяженностью 162 км [1].

Скорость абразии здесь составляет от 4,6 до 10,6 м/год. Эти берега характеризуются высоки-

ми (10–17 м) обрывами и крутизной склона 80–90°. Обрывы сложены легкоразмываемыми породами, скорость неотектонических движений невысокая (менее 1 мм/год). Пляжи не широкие 10–20 м, что не обеспечивает защиту берега.

Для этого участка по данным ГМС Таганрог нагон может достигать отметок более 3 м, высоты волн при таком нагоне при западных и юго-западных ветрах имеют параметры 1,5–2,0 м. Таким образом, эти факторы определяют эти участки по динамическому районированию, как берега с очень сильной абразией.

Типу ОБП II с высокой скоростью абразией соответствуют 5 участков (Боцмановский (9), Новобессергеновский (10), Павлово-Очаковский (18), Шиловский (30) и Приморско-Ахтарский (32)), их протяженность составляет 31 км. Развита абразионный и абразионно-оползневой подтипы берега. Подтипы абразионный, абразионно-оползневой, абразионно-обвальный.

На юго-восточном побережье Азовского моря по сравнению с предыдущим типом уменьшается высота обрыва до 13–5 м. Уклон изменяется от 60 до 90. Геологическое строение очень простое, по всей толще развиты лессовидные суглинки. Сочетание в береговых обрывах песков и глины способствует развитию оползневых явлений и формируется соответственно оползневой подтип.

Таблица 3 – Схема описания основных факторов, влияющих на опасные береговые процессы (на примере Весело-Вознесенского берегового участка)

№ п/п	Название участка	Протяженность, км	Тип берега: А – абразионный, А-О – абразионно-оползневой, О – оползневой	Морфология подводного склона		Скорость абразии, м/год	Высота берега, м	Крутизна склона, град.	Геологическое строение	Скорость тектонических движений мм/год (+/-)	Ширина пляжа, м	Волноопасные румбы	Максим. высоты волн, м	Экстремальные уровни, м	Эрозионная расчлененность, км/км²	Антропогенная деятельность (Берегоукрепления)
				Ширина абразионной ступени, км	Уклон подводного склона											
Участки берегов с очень сильной абразией, более 4 м/год (макс.)																
Северотаганрогское побережье																
1	Весело-Вознесенский	13,2	А, А-О	1,5–1,7	0,03–0,05	5,6–8,5	17	90	1) современная почва, 2) суглинки, 3) глина, 4) песок, 5) погребенная почва, 6) известняк	– 0,5 – -1,0	10	3, ЮЗ	1,5–2	более 3	Сильно расчлененный, более 0,5	Бетонный откос, волноотбойная стенка – не выполняют своей функции; распашка полей, жилая застройка под обрыв – не соблюдение водоохранного законодательства

Рис. 1. Схема описания основных факторов, влияющих на опасные береговые процессы (на примере Весело-Вознесенского берегового участка)

Пляжи узкие (10–20 м) из-за дефицита песков в береговых обрывах. Скорость тектонического погружения менее 1 мм/год.

Тип ОБП III со средней скоростью абразии имеет незначительное распространение, менее 7 км. Развит преимущественно на Керченском полуострове (Семеновский, Подмаячный, Рыбпром) [2], а также северном (Беглицкий (4)) и южном (Молчановский (22)) побережье Таганрогского залива.

Высота берега заметно снижается 7–15 м, уклоны порядка 60–80, пляжи узкие (10 м).

К **типу ОБП IV** со слабой абразией относятся участки: Новолакедемоновский (6), Русскосlobодской участок (7), Приморский (14), Мержановский (15) – на северном, Кругловский (17) Порткатоновский (21) – на южном побережье Таганрогского залива, Заводское Героевское, Заветное – на Керченском полуострове. Здесь отмечается изменение геологических условий – в пределах Керченского полуострова обрывы сложены твердыми породами (известняки). В районе Порт – Катона сформировался широкий пляж, в обнажении берега мощные толщи песков.

В работе показано, что интенсивность абразии морских берегов зависит от многих факторов, которые можно условно разделить на две группы: неизменные факторы или изменяющиеся в длительной перспективе (геологическое строение, рельеф) и быстроизменяющиеся факторы (гидрометеорологические условия и хозяйственная деятельность).

В перспективе будут рассмотрены следующие факторы, участвующие в оценке скорости абразии:

- ударная сила волн («Волновое воздействие»);
- частота ветров эффективных направлений («Ветровая активность»);
- величина эвстатического подъема уровня («Подъем уровня»);
- тип хозяйственной деятельности на побережье («Тип землепользования»).

В свою очередь эффективность волнового воздействия зависит от частоты возникновения ветров эффективных направлений («Ветровая активность») и величины эвстатического подъема уровня («Подъем уровня»). Пляж выполняет защитную функцию, однако в период сильных штормов пляж полностью заливается водой и волны достигают основания клифа. При наличии пляжа достаточной ширины (более 20 м) энергия штормовых волн практически полностью гасится в его пределах. В свою очередь, наличие инженерных средств берегозащиты выступает дополнительным защитным фактором.

Среди факторов, не вошедших в этот список, но влияющих на интенсивность береговых процессов, можно отметить следующие: сейсмические явления (землетрясения и современные тектонические колебательные движения); ледовые явления, атмосферные осадки (насыщение грунта водой и снижение прочностных характеристик склона).

Исследования выполнены по проекту РФФИ № 18-05-80082 «Закономерности формирования опасных береговых процессов в Азовском море и социально-экономические последствия их проявлений».

Список литературы

1. Беспалова Л.А., Цыганкова А.Е. Абразионные процессы и их последствия // Труды Южного научного центра Российской академии наук. Том VIII: Моделирование и анализ опасных природных явлений в Азовском регионе / отв. ред. д.г.н. С.В. Бердников. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2020. С. 97–110. DOI 10.23885/1993–6621-2020–8 97–110.
2. Цыганкова А.Е., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Мисиров С.А. Современное состояние берегов Керченского полуострова // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Выпуск 4. – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2019. С. 177–180. DOI: 10.23885/2500–123X-2019–2-4–177-180.

USING A DYNAMIC APPROACH FOR ZONING THE COAST OF THE SEA OF AZOV

A.E. Tsygankova, L.A. Bespalova, O.V. Ivlieva, A.A. Magaeva

South Federal University, Rostov-on-Don

aetsygankova@yandex.ru, bespalowaliudmila@yandex.ru, ivlieva.o@mail.ru, a.magaeva@mail.ru

Abstract. The purpose of this work is to comprehensively study the ecological and geological conditions and results of monitoring studies of the coastal territories of the Bay of Taganrog and the Sea of Azov to identify indicators for assessing natural risks. The object of research is a complex system of the coastal zone, consisting of subsystems of land, sea and coast. The subject of the study is the assessment of the risk of loss of territory as a result of various natural factors, both constant over time (geological structure, height of the coastal cliff) and changing (dynamics of the level, waves, wind conditions).

Within this framework, we show the use of a dynamic approach for zoning the shores of the Sea of Azov, performed based on a comprehensive analysis of natural and anthropogenic factors that determine the development of dangerous coastal processes (DCP). All factors divided into two groups: those that increase the intensity of coastal processes and those that contribute to reducing their manifestations.

It established that hydrodynamic factors in the development of DCP are the determining factors. Anthropogenic impact can be associated with both global and regional impacts, through ecosystem changes, regulation of river flow, environmental pollution, and local – irrational coastal protection, industrial and agricultural activities in the coastal zone, unauthorized removal of beach material, etc.

Key words. Dangerous coastal processes, abrasion rate, dynamic zoning, coast, the Sea of Azov.

References

1. *Bespalova L.A., Tsygankova A.E.* Abrasion processes and their consequences // Studies of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (Series) / Issue VIII (2020): Modelling and Analysis of Natural Hazards in the Sea of Azov Region. Managing Editor of the Issue Dr. (Geography) S.V. Berdnikov. Rostov-on-Don: SSC RAS Publishers. P. 97–110 (in Russian)
2. *Tsygankova A.E., Bespalova L.A., Ivlieva O.V., Misirov S.A.* Modern state of the coast of the Kerchen peninsula / ECOLOGY. ECONOMY. INFORMATICS. Geoinformation technologies and space monitoring. Rostov on Don: Southern Scientific Center of RAS Publishers, 2019. P. 177–180 (In Russian).