DOI: 10.17117/na.2016.10.02.275

<http://ucom.ru/doc/na.2016.10.02.275.pdf>

Поступила (Received): 24.10.2016

**Куклев С.Б., Зацепин А.Г., Баранов В.И.,
Куклева О.Н., Очередник В.В.
Результаты мониторинга морского глубоководного
выпуска г. Геленджика доплеровским
акустическим профилографом ADCP**

**Kuklev S.B., Zatsepin A.G., Baranov V.I., Kukleva O.N., Ocherednik V.V.
The results of the Gelendzhik deep-water release monitoring
with the Acoustic Doppler Current Profiler ADCP**

Предложен экспресс-метод обследования глубоководного выпуска очистных сооружений с помощью акустического доплеровского профилографа скорости течения (ADCP). По результатам обследования водовыпуска г. Геленджика обнаружены многочисленные разрывы трубопровода. Через разрывы в условиях слабого сезонного термоклина на мелководном участке сточные воды поднимаются до самой поверхности моря, что негативно влияет на экологию прибрежной акватории
Ключевые слова: Черное море, течения, глубоководный выпуск, экология

The express method of inspection of deep-water release from sewage treatment plant by means of Acoustic Doppler Current Profiler ADCP is offered. By results of Gelendzhik waste water release inspection numerous pipeline ruptures are detected. Through ruptures in conditions of underdeveloped seasonal thermocline in shallow water the sewage rises to the sea surface, which adversely affects the ecology of coastal waters

Key words: Black Sea, current, deep-water discharge, ecology

Куклев Сергей Борисович
Кандидат географических наук, зав. лабораторией
Институт океанологии им. П.П. Шишова
г. Геленджик, ул. Просторная, 1 Г

Kuklev Sergey Borisovich
Candidate of Geographic Sciences, Head of Laboratory
Institute of oceanology named P.P. Shirshov
Gelendzhik, Prostornaya st., 1 G

Зацепин Андрей Георгиевич
Доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией
Институт океанологии им. П.П. Шишова
г. Геленджик, ул. Просторная, 1 Г

Zatsepin Andrey Georgievich
Doctor of Physico-mathematical Sciences, Head of Laboratory
Institute of oceanology named P.P. Shirshov
Gelendzhik, Prostornaya st., 1 G

Баранов Владимир Иванович
Руководитель группы
Институт океанологии им. П.П. Шишова
г. Геленджик, ул. Просторная, 1 Г

Baranov Vladimir Ivanovich
Head of group
Institute of oceanology named P.P. Shirshov
Gelendzhik, Prostornaya st., 1 G

Куклева Ольга Николаевна
Научный сотрудник
Институт океанологии им. П.П. Шишова
г. Геленджик, ул. Просторная, 1 Г

Kukleva Olga Nikolaevna
Researcher
Institute of oceanology named P.P. Shirshov
Gelendzhik, Prostornaya st., 1 G

Очередник Владимир Владимирович
Инженер
Институт океанологии им. П.П. Ширшова
г. Геленджик, ул. Просторная, 1 Г

Ocherednik Vladimir Vladimirovich
Engineer
Institute of oceanology named P.P. Shirshov
Gelendzhik, Prostornaya st., 1 G

Экспедиционные мониторинговые исследования выполнялись в рамках Соглашения №14.577.21.0110 УИН RFMEFI57714X0110 с Минобрнауки РФ. Обработка и анализ данных измерений выполнялись при финансовой поддержке грантов РФФИ №16-45-230781, №.14-05-00159

Введение (Introduction)

Доплеровский акустический профилограф течений ADCP универсальный прибор, позволяющий решать широкий круг океанологических задач. С его помощью ИО РАН проводит исследования пространственной (в варианте донной постановки – временной) изменчивости динамики вод [2, 3, 4], обусловленной, в частности, образованием субмезомасштабных шельфовых вихрей [5, 7], прибрежных апвеллингов [8] и многих других процессов и явлений, влияющих на экологию прибрежной части моря. Целью настоящего мониторинга являлось обнаружение аварийных стоков трубы глубоководного выпуска очистных сооружений г. Геленджика, расположенной в створе Толстого мыса Геленджикской бухты Черного моря (рис. 1).

Рис. 1. Района мониторинга глубоководного выпуска очистных сооружений г. Геленджика. Зеленая линия – сбросовое устройство (карта-схема с сайта Google)

Работы выполнялись в период 29.04.2016 г с борта маломерного судна (резиновой лодки типа “Кайман”). В общей сложности выполнено 5 перпендикулярных берегу галсов. Результаты исследования позволили определить структуру поля течения в районе расположения трубы, зафиксировать участки

аварийного выхода сбросовых вод, направления их распространения под влиянием прибрежного течения. По результатам исследований было установлено, что сброс сточных вод происходит не в глубоководной части моря, а через многочисленные разрывы трубопровода, расположенные достаточно близко к берегу.

Материалы и методы (Materials and Methods)

Для исследований был использован доплеровский акустический профилограф ADCP Rio Grande WH-600. Прибор был закреплен в жесткой штанге по одному из бортов судна. Данные измерения в режиме реального времени записывались на полевой ноутбук. Одновременно с помощью навигатора Crescent R100 регистрировалось положение судна и координаты точек зондирования, что при обработке данных позволило с помощью стандартных средств (Mathlab, Surfer) построить карты распределения измеряемых параметров.

Предполагалось, что факел выброса сточных вод будет распространяться по направлению течения, сформированного на период проведения работ. Первоначально по дрейфу судна определялось преобладающее направление течений. В период 29.04 течение соответствовало ЮВ направлению. Поэтому станции мониторинговых наблюдений и поперечные берегу галсы судна, на которых происходило ADCP-измерение вертикальных профилей скорости и сигнала обратного акустического рассеяния, пропорционального концентрации взвешенных в воде частиц, были смещены в ЮВ направлении от сбросовой трубы (рис. 2). При этом первый галс (K1-K2) выполнялся на расстоянии ~500 м с противоположной от остальных галсов стороны трубы.

Рис. 2. Галсы измерения профилографом ADCP в период 29.04.2016 г.

Частота измерений составляла 2 Гц. Аппаратными средствами ADCP были заданы параметры осреднения по 10 пингам (каждые 5 сек.) и записи по 20 пингам (каждые 10 сек.). При скорости судна 1 м/с частота записей измерений составляла каждые ~ 10 м. На полевом ноутбуке регистрировались вертикальное распределение скорости и направления течений, сигнал обратного акустического рассеивания, координаты точек измерения. Данные, переведенные в ASCII-коды, обрабатывались стандартными программными комплексами.

Рис. 3. Модуль и направление скорости течения, мощность сигнала обратного акустического рассеивания на разрезе L1-L2. Красными эллипсами выделены участки выхода сточных вод через разрывы трубопровода

Результаты (Results)

Данные измерений позволили получить вертикальное распределение скорости и направления течений, сигнал обратного акустического рассеивания на каждом из галсов. На рисунке 3 приведен пример вертикального разреза амплитуды и направления скорости течения, а также сигнала обратного акустического рассеивания на галсе L1-L2, расположенного практически над трубой (рис. 2).

Анализ полученных результатов показывает, что в период проведения работ наблюдалось течение ЮВ направления со скоростью от 10 см/с в прибрежной части до 40 см/с в глубоководной части исследуемого участка моря. По сигналу обратного акустического рассеивания обнаруживаются многочисленные выходы сточных вод через разрывы трубопровода. Известно, что стоки очистных сооружений отличаются от морской воды повышенным содержанием взвеси в основном органического происхождения. Кроме того, сточные воды менее плотные и обладают на фоне морской воды положительной плавучестью. При выходе из разрывов трубы, эти воды стремятся подняться наверх и, в условиях слабоборозитого сезонного термоклина и небольшой глубины места, они достигают поверхности моря.

Наиболее мощный выброс сточных вод наблюдался в прибрежной зоне, что, по всей видимости, соответствует участку наибольшего разрушения трубопровода (глубина ~20 м). Величина расхода сточных вод в месте указанного разрыва была достаточной, чтобы вызвать существенное изменение сигнала обратного акустического рассеивания, но недостаточной, чтобы оказать влияние на структуру течения исследуемого участка.

Рис. 4. Осредненная по глубине структура течений и распределение чисел Россби в слое от 3 м до дна

Это следует из рисунка 4, на котором построено поле осредненной по глубине скорости течения (стрелки), а также цветом маркировано поле безразмерной завихренности течения, представленной в виде числа Россби, $Ro = \omega/fU$, где ω – завихренность горизонтального поля скорости течения, U – горизонтальная скорость течения, f – параметр Кориолиса. Видно, что в прибрежной области, где аварийный сброс сточных вод максимален, завихренность имеет циклонический знак ($Ro > 0$), тогда как локальный источник во вращающейся жидкости должен порождать антициклоническую завихренность скорости течения). В общем случае, процесс формирования завихренности течения в рассматриваемых условиях определяется суперпозицией фоновой завихренности поля течения и антициклонической завихренности, порождаемой локальным источником, возрастающей с увеличением расхода источника [1].

Заключение (Conclusion)

Предложен и опробован экспресс-метод обследования морской акватории области расположения трубы глубоководного выпуска очистных сооружений г. Геленджика с помощью прикрепленного к борту маломерного судна акустического доплеровского профилографа скорости течения (ADCP). В процессе обследования судно совершает поперечные берегу галсы (параллельные трубе) и, с помощью ADCP производит измерение профилей горизонтальной скорости течения и сигнала обратного акустического рассеяния от приповерхностного слоя до дна. Поскольку сигнал обратного акустического рассеяния пропорционален концентрации взвешенного в воде вещества, его увеличение в области расположения трубы позволяет обнаружить аварийные стоки канализационных вод, а измеренное поле течений – предсказать направление их распространения. Из-за высокой пространственно-временной изменчивости поля течения [5, 9] направление и дальность распространения загрязненных канализацией вод должно было подвержено сильной изменчивости, которая нуждается в систематическом изучении.

В результате обследования глубоководного выпуска очистных сооружений г. Геленджика выявлены многочисленные разрывы трубопровода, через которые сточные воды поступают в морскую среду гораздо ближе нормативных 2-х миль от берега. При этом наибольшие разрушения трубопровода наблюдаются на глубине ~20 м. В условиях слабо развитого сезонного термоклина на таком мелководном участке акватории сточные воды поднимаются до самой поверхности моря, что неблагоприятно влияет на экологическую обстановку в прибрежной зоне моря. «Дырявый» трубопровод не выполняет свои функции глубоководного выпуска, который должен обеспечивать условия рассеивания (разбавления) стоков до их возможного выхода на поверхность моря.

Список используемых источников:

1. Дидковский В.Л., Зацепин А.Г. Об одном механизме формирования мезомасштабных вихревых структур в склоново зоне океана // ДАН России. 1996. Т.347. №1. С. 109-112.
2. Зацепин А.Г., Корж А.О., Кременецкий В.В., Островский А.Г., Поярков С.Г., Соловьев Д.М. Изучение гидрофизических процессов на шельфе и верхней части континентального склона Черного моря с использованием традиционных и новых методов измерений // Океанология. 2008. Т.48. №4 С.510-519.

3. Зацепин А.Г., Пиотух В.Б., Корж А.О., Куклева О.Н., Соловьев Д.М. Изменчивость поля течений в прибрежной зоне черного моря по измерениям донной станции ADCP // *Океанология*. 2012. Т. 52. №5. С.629-642.
4. Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В. и др. Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря // *Известия АН – ФАО*. 2014, №1. С. 16-29.
5. Кривошея В.Г., Москаленко Л.В., Титов В.Б. К вопросу о режиме течений на шельфе у северо-кавказского побережья Черного моря // *Океанология*. 2004. Т. 44. № 3. С. 358–363.
6. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А. и др. Комплексный спутниковый мониторинг морей // М.: ИКИ РАН, 2011. 470 с.
7. Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Пиотух В.Б., Подымов О.И., Сильвестрова К.П. Наблюдение цикла интенсивного апвеллинга и даунвеллинга на гидрофизическом полигоне ИОРАН в Черном море // *Океанология* 2016. Т.56. №2. С.203-214.
8. Зацепин А.Г., Куклев С.Б. Изменчивость модуля горизонтальной скорости течения на ближнем шельфе и за бровкой шельфа на Геленджикском полигоне ИО РАН в Черном море: сравнительный анализ // *Научный вестник*. 2016. N 2(8). С. 86-95.

© 2016, Куклев С.Б., Зацепин А.Г., Баранов В.И.,
Куклева О.Н., Очередник В.В.

Результаты мониторинга морского глубоководного
выпуска г. Геленджика доплеровским акустическим
профилографом ADCP

© 2016, Kuklev S.B., Zatsepin A.G., Baranov V.I.,
Kukleva O.N., Ocherednik V.V.

The results of the Gelendzhik deep-water release
monitoring with the Acoustic Doppler Current Profiler
ADCP