

УДК 551.465

ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РАЙОНА

© 2019 г. В. М. Грузинов, Н. Н. Дьяков, И. В. Мезенцева, Ю. А. Мальченко,
Н. В. Жохова*, А. Н. Коршенко

Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Москва, Россия

**e-mail: matelot@bk.ru*

Поступила в редакцию 23.05.2018 г.

После доработки 16.08.2018 г.

Принята к публикации 05.02.2019 г.

Представлены результаты исследований гидролого-гидрохимического состояния морских вод Севастопольского района в 2016–2017 гг. Определены основные источники загрязнения вод взморья и бухт г. Севастополя сточными водами, объемы сбрасываемых стоков и степень их очистки. С помощью гидролокатора бокового обзора обследовано состояние оголовков канализационных очистных сооружений района. Показаны особенности пространственного распределения гидрологических характеристик и течений в зонах выпусков сточных вод, проанализированы условия выхода сбросов на поверхность моря. По результатам экспедиционных съемок и архивных данных определена концентрация биогенных элементов, органических веществ по биохимическому потреблению кислорода БПК₅ и нефтяных углеводородов в прибрежных водах Крыма. Проведенный сравнительный анализ районов Севастополя, Ялты и Керченского пролива показал отсутствие превышения нормативов по биогенным элементам и значительных различий по большинству показателей. При этом в водах Ялты отмечено наибольшее содержание силикатов, а в водах Севастопольского района и Керченского пролива содержание нефтяных углеводородов и органических веществ часто превышало нормативы.

Ключевые слова: источники загрязнения, прибрежные воды, Севастопольский район, гидрохимические показатели, гидродинамические факторы, подводный выпуск, экологическое состояние

DOI: 10.31857/S0030-1574594579-590

ВВЕДЕНИЕ

Активное и возрастающее в последние годы антропогенное воздействие на природную среду прибрежных районов Черного моря, характеризующееся увеличением поступления в нее загрязняющих веществ (ЗВ) [6, 8, 14], вызывает необходимость регулярной комплексной оценки состояния морской среды и экологической ситуации в целом. Для шельфовой зоны Черного моря вблизи Крымского полуострова основными источниками загрязнения прибрежных вод являются выпуски сточных вод в реки или непосредственно в море [11]. Развитие технологий очистки стоков существенно отстает от интенсивного в последние годы развития промышленного производства, транспортно-жилищного и рекреационного строительства. Это приводит к перегрузке имеющихся инженерных водохозяйственных сетей, большинство из которых были построены в период 1950–90-х годов и не рассчитаны на эксплуата-

цию в современном режиме ни по объему поступающих стоков, ни по их составу. Кроме того, в 1990-х годах появилось большое количество локальных самотечных источников, до сих пор не контролируемых экологическими службами. В связи с этим появилась необходимость определить расположение и мощность источников загрязнения, таких как канализационные очистные сооружения (КОС) и их подводные выпуски, речные и ливневые стоки, затопленные объекты. С 2016 г. в Севастопольском районе начат гидролого-гидрохимический мониторинг морских вод вблизи источников загрязнения и на фоновых участках с исследованием гидродинамических факторов, определяющих перенос примеси и ЗВ [10, 12]. В работе приводятся результаты этого мониторинга с комплексной оценкой источников загрязнения, гидродинамики района, гидрохимических параметров и уровня загрязнения морской среды Севастопольского района.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Был проанализирован большой объем архивной информации о химических параметрах морских вод района и его фонового загрязнения за последние десятилетия, накопленный в Гидрометфонде ФГБУ «ГОИН» и его Севастопольском отделении (СО ФГБУ «ГОИН»). Дополнительно рассмотрены фондовые данные о районах выпуска сточных вод крупнейших предприятий водопроводно-канализационного хозяйства Крыма (Севгорводоканал, Ялтинский и Евпаторийский водоканалы). На этой основе с дополнением открытых источников по нормативам предельного допустимого сброса (ПДС) была проведена инвентаризация очистных сооружений, включая ливневые канализации, и оценены объемы сбросов в морскую среду. В 2016–2017 гг. при помощи гидролокатора бокового обзора (ГБО) C-MAX CM2 FSH-01 совместно с GPS-навигатором GARMIN было исследовано состояние подводной части системы сброса сточных вод и их оголовков, одновременно фиксировалось местоположение затопленных предметов. Исследования физических показателей морской воды (вертикального профиля температуры, солёности, условной плотности, мутности, скорости и направления течений) выполнялись профилографом MIDAS ECM. С помощью самописцев, установленных на автономных буйковых станциях (АБС), получены данные о пространственном и вертикальном распределении скорости и направлении течений. Отбор проб для определения гидрохимических показателей в зависимости от глубины места отбора выполнялся батометром Молчанова ГР-18 либо батометром Нискина.

Оценка влияния выпусков сточных вод на гидрохимические показатели проводилась на сети станций мониторинга, оптимизированной в соответствии с уточненным положением оголовков выпусков сточных вод [12]. Станции наблюдения привязаны к основным источникам загрязнения, устьям рек и точкам выхода в море ливневых стоков. Мониторинг Севастопольской бухты выполнялся на сети из 7 станций, в том числе в районе Килен-бухты, где расположен 13-й судоремонтный завод Черноморского флота и выпуски ливневых канализаций, а также в Корабельной бухте, в основании которой расположены доки Севастопольского морского завода. Мониторинг на взморье Севастополя выполнялся на сети из 22 станций.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основные источники загрязнения Севастопольского района. На побережье от м. Лукулл до м. Сарыч в настоящее время функционируют 35 выпусков сточных вод, которые сбрасывают порядка 56 млн м³ в год стоков различной степени очистки (рис. 1). Из этих выпусков только пять имеют полный цикл механической и биологической очистки. Общий объем этих стоков равен 8245 тыс. м³, что составляет 14.7% общего количества стоков. Еще 38 802 тыс. м³ (69.4%) сточных вод подвергаются только механической очистке и сбрасываются недоочищенными, а 8902 тыс. м³ (15.9%) сбрасываются вообще без очистки. Согласно утвержденным нормативам ПДС для канализационных очистных сооружений (КОС) г. Севастополя, проектные сбросы ЗВ в акваторию Черного моря у Севастопольского побережья составляют 54.5 тыс. т/год (табл. 1). Кроме основных выпусков, на побережье Севастополя имеется 11 аварийных выпусков сточных вод. Высокая степень изношенности городских канализационных сетей определяет систематическое поступление через них в морскую среду ЗВ с неочищенными стоками, вблизи жилых массивов и рекреационных объектов. Наиболее мощным источником загрязнения морских вод в районе Севастополя являются КОС «Южные», доминирующие по объему стока при отсутствии полного цикла очистки вод. В Балаклавской бухте сбрасываются неочищенные стоки, а выпуск расположен недалеко от берега на глубине 9 м.

Другим источником загрязнения является сток рек, русла которых хотя и расположены на охраняемых территориях, однако зачастую принимают сточные воды организованных и неорганизованных источников. Также повсеместно наблюдается загрязнение притоков рек, водосборный бассейн которых находится в густонаселенных районах. Воды реки Черной являются источником загрязнения вод нефтепродуктами (НП), или нефтяными углеводородами (НУ), тяжелыми металлами (ТМ) и биогенными элементами (табл. 2).

Кроме того, воды реки недо насыщены растворенным кислородом и имеют pH < 8, в период прохождения зимне-весеннего паводка загрязнены синтетическими поверхностно-активными веществами (СПАВ). Реки Кача, Бельбек и Балаклавка также протекают по территориям с интенсивным земледелием, что определяет существенное повышение концентрации биогенных веществ, взвеси и органических веществ

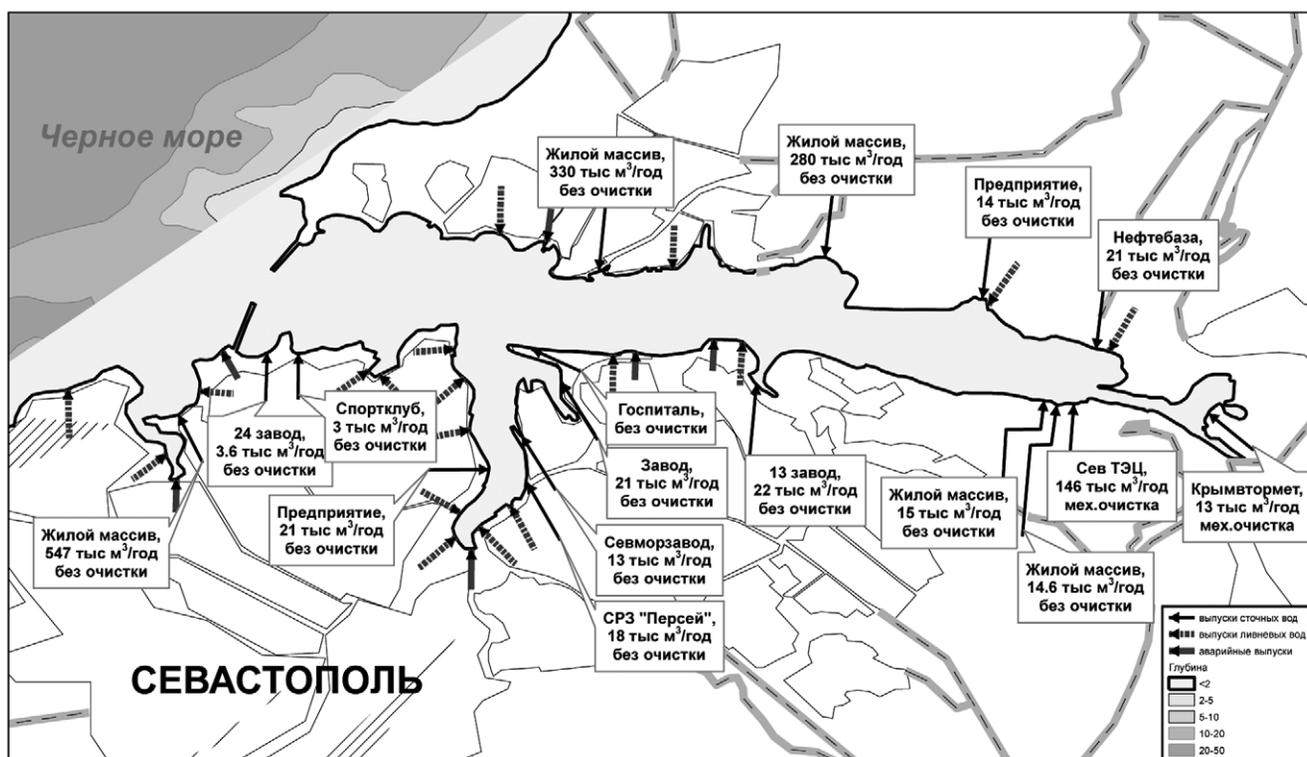


Рис. 1. Выпуски различных стоков в районе г. Севастополя: у м. Херсонес (вверху) и Севастопольской бухты (внизу).

в их водах на замыкающем створе. Наиболее загрязненными являются воды р. Балаклавы, впадающей в верховье Балаклавской бухты. Основным источником поступления ЗВ в рус-

ло реки является сброс вод Балаклавского рудоуправления, осуществляемый на расстоянии 0.5 км от ее устья. Это приводит к загрязнению вод реки и сопряженной с ней Балаклавской

Таблица 1. Нормативы предельно допустимого сброса (т/год) загрязняющих веществ крупнейших очистных сооружений г. Севастополя

Очистные сооружения	Взвешенные вещества	Минерализация (сухой остаток)	БПК ₅	Хлорид-ионы	Сульфат-ионы	Аммоний-ионы	Нитрит-ионы	Нитрат-ионы	(P ₂ O ₅)
Северные	93.70	9001.6	93.08	4847.3	1004.4	18.00	17.53	374.0	92.5
СВВМУ	14.55	174.84	23.72	19.25	11.60	9.70	0.07	0.36	3.62
Южные	2842.8	21117.1	3583.4	3573.8	1912.4	958.1	36.4	44.1	503.0
Балаклавские	243.1	2428.7	361.7	503.4	166.3	53.6	4.8	10.6	33.1
Ласпи	2.10	109.22	2.10	19.32	6.56	0.38	0.24	3.17	0.56
Сумма	3196	32831	4064	8963	3101	1040	59	432	633

Очистные сооружения	СПАВ	Нефтепродукты	Железо	Хром (VI)	Медь	Никель	Кадмий	Цинк	Свинец
Северные	13.50	9.31	9.3	3.103	3.103	1.241	0.062	1.241	0.621
СВВМУ	0.52	0.37	0.56						
Южные	34.5	40.8	38.7	2.57	0.38	0.38	0.38	1.82	1.92
Балаклавские	4.5	4.2	5.6	0.30	0.015	0.03	0.015	0.15	
Ласпи	0.02	0.14	0.034						
Сумма	53	55	54	6	4	2	0.5	3	3

бухты НУ, СПАВ, ТМ, различными формами биогенных элементов азота и фосфора, а также взвешенными веществами, концентрация которых достигает 70–80 мг/дм³. Воды р. Балаклавки существенно недонасыщены растворенным кислородом и имеют низкое значение величины рН, что косвенно свидетельствует о высоком уровне загрязнения вод. Воды рек Бельбек и Кача также выносят значительные количества ЗВ в прибрежные акватории. Высок уровень загрязнения органическими и биогенными веществами, металлами и нефтепродуктами, причем концентрация последних в водах р. Бельбек в 3.5 раза превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК).

Значимым и малоизученным источником загрязнения морских вод являются выходы ливневых канализаций. В районе насчитывается 25 выпусков ливневых вод, большинство которых расположены по периметру Севастопольской бухты. Хотя состав ливневых вод, поступающих в море, в значительной мере зависит

от района их водосбора, однако на всех участках значительно превышена ПДК по содержанию синтетических поверхностно-активных веществ и нефтяных углеводородов (табл. 3).

В Артиллерийской бухте наблюдается повышенное содержание легкоокисляемых органических веществ по биологическому потреблению кислорода (БПК₅), СПАВ и различных форм азота. Это связано с наличием в водосборном бассейне застроек частного сектора, а также центрального городского рынка и предприятий общепита, очевидно, осуществляющих сброс неочищенных стоков и незаконную врезку в систему ливневого канализования. Дождевые воды с промплощадок содержат большое количество нефтепродуктов и СПАВ, но относительно небольшое содержание биогенных элементов и органических веществ (по БПК₅). Результаты исследований показали также, что состав приносимых в морскую среду веществ существенно зависит от периода наблюдений. В маловодный летний период концентрация ЗВ

Таблица 2. Средние значения показателей качества вод малых рек Севастополя за период 1995–2008 гг.

Показатель	Черная	Кача	Бельбек	Балаклавка
pH, ед.pH	7.92	8.20	7.94	7.90
O ₂ , мг/дм ³	8.97	8.70	9.26	9.18
O ₂ , %	85	81	88	80
Сульфаты, мг/дм ³	40.6	176.7	71.2	230.4
Хлориды, мг/дм ³	34.3	71.3	36.3	105.3
Кальций, мг/дм ³	67.1	87.7	70.2	144.3
Магний, мг/дм ³	18.1	52.8	46.6	52.6
Жесткость, мгэкв/дм ³	4.79	8.70	6.61	11.34
Сухой остаток, мг/дм ³	320.4	651.4	426.0	807.2
ХПК, мг/дм ³	19.4	28.8	82.0	66.8
БПК ₅ , мг/дм ³	2.15	1.99	2.51	3.15
N-NH ₄ , мкг/дм ³	249	407	279	331
N-NO ₂ , мкг/дм ³	5.9	63.5	11.9	67.8
N-NO ₃ , мкг/дм ³	1898	6068	3321	18185
P-PO ₄ , мкг/дм ³	231	127	97	240
Fe, мг/дм ³	0.32	0.57	0.14	1.01
Cu, мг/дм ³	0.011	0.015	0.020	0.013
Zn, мг/дм ³	0.022	0.007	0.004	0.007
Pb, мг/дм ³	0.0019	0.0035	0.0015	0.0120
Cd, мг/л	0.0002	0	0	-
Нефтяные углеводороды, мг/дм ³	0.149	0.080	0.164	0.199
СПАВ, мг/дм ³	0.076	0.059	0.049	0.269

Таблица 3. Содержание веществ в ливневых водах различных выпусков на территории города Севастополя

Бухта	Месяц	pH	Показатели, мг/дм ³						
			БПК ₅	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	СПАВ	НУ
Южная	март	7.8	9.5	0.06	0.05	0.30	1.17	0.62	1.74
Аполлоновья	март	8.2	7.3	0.78	0.03	1.80	1.70	0.29	2.28
Омега	март	7.8	9.0	2.33	0.02	0.97	1.33	0.12	2.10
Артбухта	март	7.8	25.1	4.43	0.19	2.56	1.43	1.00	2.62
Карантинная	март	8.1	6.3	3.89	0.02	0.29	1.07	0.72	0.86
Омега	июнь	7.8	28.5	2.10	0.08	0.61	0.82	1.24	1.07
Карантинная	июнь	7.9	17.6	1.79	0.07	1.67	0.74	1.72	1.33
Артбухта	июнь	7.9	75.0	17.11	0.16	1.10	3.13	1.63	0.36

в ливневых водах имеет существенно более высокие значения.

Не изученным источником загрязнения морской среды являются затопленные объекты. Анализ данных экологической обстановки Севастопольской и Балаклавской бухт позволил обнару-

жить ряд объектов, требующих дальнейшего изучения на предмет их экологической безопасности. Некоторые из объектов могут быть визуально идентифицированы как затопленные маломерные суда или баржи. Учитывая неясность их происхождения, в дальнейшем

требуется провести обследование с использованием средств визуальной фотофиксации и мониторинг загрязнения вод в районе их расположения с обязательным отбором проб на ТМ, НУ и СПАВ.

Исследование подводных выпусков сточных вод г. Севастополя. Для изучения процессов распространения сбрасываемых сточных вод используются контактные и дистанционные методы наблюдений [3, 2, 5], а также численное моделирование [9]. Непосредственно наблюдение стока Севастополя с помощью оптического сканера со спутника «Ресурс» описано в работе [2]. В работе [5] приводятся данные мониторинга прибрежной зоны Севастополя в районе КОС «Южные» с помощью искусственных спутников Земли Landsat-8 и Sentinel-1. Численное моделирование распространения заглубленного стока в прибрежной зоне Гераклейского полуострова в районе расположения этих КОС выполнено в [9].

Подводные выпуски сточных вод КОС за счет поступления в море более пресной воды создают у дна локальный источник положительной плавучести, который формирует системы устойчивых турбулентных течений в виде плюмов. Турбулентная диффузия и адвективный перенос приводят к разбавлению загрязненных вод в плюме. На интенсивность (кратность) разбавления влияют следующие факторы: тип выпуска (точечный или распределенный источник в виде диффузора), расход воды в источнике, плотность морских и сточных вод, динамические условия [9]. В случае глубоководных выпусков КОС сточные воды при подъеме от выпуска, согласно проектным документам, должны задерживаться плотностной стратификацией на горизонте нейтральной плавучести, который обычно соответствует нижней границе пикноклина, и далее распространяться под пикноклином в горизонтальном направлении. Таким образом, теоретически загрязнение прибрежных вод, особенно в рекреационных зонах, должно исключаться. Однако, как показал анализ спутниковой информации, при определенных гидрологических условиях подъем сточных вод в поверхностный слой принципиально возможен [3, 5].

В настоящее время на КОС «Южные» эксплуатируются только сооружения механической очистки (запланированная проектом биологическая очистка отсутствует). Ежедневно в море сбрасывается до 80 тыс. м³ недостаточно очи-

щенных сточных вод, что приводит к загрязнению акватории и негативно влияет на санитарно-экологическую обстановку. Обследование оголовка крупнейшего выпуска КОС «Южные» с использованием ГБО показало его неудовлетворительное состояние, поскольку есть признаки повреждений и разрывов на многих участках трубопровода. Комплексные экспедиционные исследования Морского гидрофизического института (МГИ) РАН, выполненные на НИС «Бирюза» в июле-сентябре 2015 г. и мае 2016 г., выявили над магистралью выпуска вблизи берега источник загрязнения, содержащий характерные для сточных вод химические компоненты. Здесь поверхностные воды содержали в 10–20 раз больше фосфатов, кремнекислоты, ионов аммония, а также имели более высокую величину щелочности и содержание общего неорганического углерода. В придонных водах по сравнению с окружающими участками сохранилось гораздо больше фосфатов и ионов аммония; а степень насыщения растворенного кислорода была заметно меньше. По итогам исследований был сделан вывод о выходе на поверхность моря сточных вод г. Севастополя, что, скорее всего, является следствием прорыва магистрали подводного выпуска [10].

Выпуск КОС Балаклавы не имеет оголовка с диффузором. Конец трубы на консоли опущен до изобаты 9 м и находится в 55 м от уреза воды. Рядом расположены городской пляж и вход в Балаклавскую бухту. Выпуск сточных вод производится выше скачка плотности, что создает условия для струйного подъема неразбавленных сточных вод на поверхность. Таким образом, при увеличении жилой застройки и развитии судостроения существует потенциальная угроза для развития неблагоприятной экологической обстановки в Балаклавской бухте.

Режим течений в районе глубоководного выпуска КОС «Южные». На основании общего анализа результатов наблюдений на Севастопольском взморье можно выделить основные факторы, определяющие особенности циркуляции и динамику вод в прибрежной зоне юго-западной части Крыма от м. Херсонес до м. Фиолент [4, 1, 7]:

- интенсивный поток Основного Черноморского течения (ОЧТ), направленный на запад, северо-запад вдоль южного побережья Крыма;
- регулярное формирование антициклонического вихря справа от ОЧТ в районе Се-

востополя (Севастопольский антициклон), северная периферия которого часто является вдольбереговым потоком, направленным на юго-восток от мыса Херсонес к м. Фиолент;

- взаимодействие северной периферии ОЧТ с неоднородностями рельефа шельфа и конфигурации побережья;
- сильные и часто повторяющиеся ветры, вызывающие сгонно-нагонные эффекты в прибрежной зоне и стимулирующие явление прибрежного апвеллинга.

Взаимодействие этих факторов определяет сложную структуру и динамику прибрежных вод. В районе от м. Фиолент до м. Херсонес формируется знакопеременная система вихрей (антициклонических и циклонических), которые, поступательно смещаясь в западном направлении, определяют динамику и кинематику течений на шельфе в этом районе. Для статистической характеристики течений были привлечены данные измерений, выполненных с помощью самописцев течений, установленных на заякоренных АБС. Всего в районе Голубой бухты, в которой находится подводный выпуск КОС «Южные», было установлено 20 АБС. Наибольшее их количество (13) было установлено в районе фоновой точки вблизи диффузора оголовка КОС. Как показал анализ результатов измерений, скорость течений исследуемой прибрежной акватории изменяется в довольно широких пределах — от инструментального нуля до 76 см/с. Преобладающий перенос вод во всей толще слоя (на горизонтах 10–75 м) происходит, как правило, в двух направлениях — северо-западном, со средними скоростями течений 11–27 см/с, и юго-восточном, со средними скоростями течений 8–17 см/с. Анализ векторных данных показал, что через точку измерений (заякоренный буй) проходит серия знакопеременных динамических образований (волн, вихрей), в результате чего вектор течения может разворачиваться на 360° (рис. 2).

Величина скорости течения с 95% обеспеченностью (важная для экологического обоснования различных гидротехнических сооружений, расчетов предельно допустимых сбросов глубоководных выпусков очищенных сточных вод) оказалась в пределах 2–4 см/с. Следует отметить, что в любой сезон года, за исключением зимнего, в Голубой бухте могут наблюдаться очень слабые течения (<2 см/с).

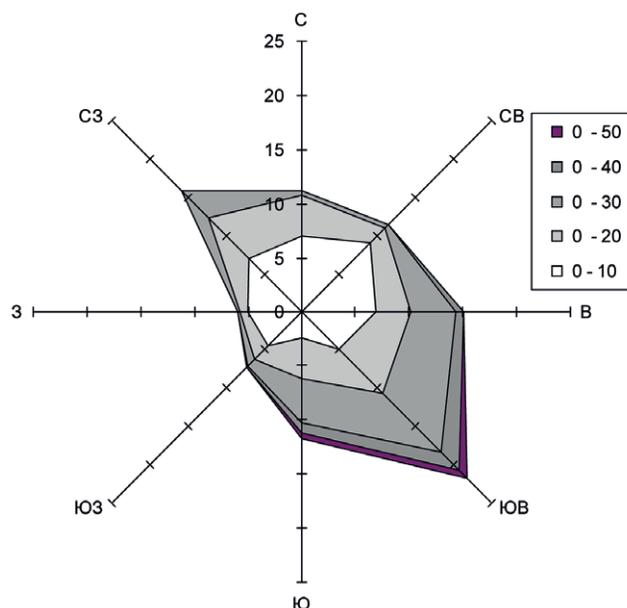


Рис. 2. Роза повторяемости (%) скорости течения по направлениям. Район Голубой бухты, фоновая станция 25-а (АБС-238), горизонт 10 м.

Анализ результатов измерений течений во время съемки 7 ноября 2017 г. показал наличие двухслойного потока: в поверхностном слое преобладали течения северо-западного направления со скоростями течений 12–14 см/с. В придонном слое наблюдалось более интенсивное течение (21–40 см/с) юго-восточного направления. В [9] на основе расчетов по трехмерной численной модели проанализированы варианты распространения сточных вод в прибрежной зоне Гераклеийского п-ова от подводного источника, имитирующего прорыв магистрали КОС «Южные». Расчеты выполнялись для плотностных стратификаций, характерных для теплого времени года (май, сентябрь) с расположением пикноклина на глубинах 15–30 м. Максимальные площади зон загрязнения ($\max V$) и глубины их залегания сброса (z_{\max}), в зависимости от средних скоростей течений (V) и глубины расположения источника загрязнения (h) приведены в табл. 4.

В районе повреждения трубопровода, по данным съемки 7 ноября 2017 г., скорости течений составляли 12–18 см/с. При таких скоростях течений, по результатам численного моделирования [9], происходит опускание областей загрязнения до дна с одновременным уменьшением их площадей в 1.5–2 раза до 0.37 км². В неблагоприятных условиях (слабые течения и отсутствие

Таблица 4. Максимальные площади зон загрязнения ($\max V$) и глубины их залегания (z_{\max} , м) при разных значениях средней скорости течения (V , см/с) и глубины залегания источника (h , м) для разных типов стратификации по [9]

h , м	V , см/с	$N = 18.3$ цикл/час		$N = 13.1$ цикл/час	
		$\max V$, км ²	z_{\max} , м	$\max V$, км ²	z_{\max} , м
15	2.5	0.52	5.5	3.54	0.5
	5.0	0.28	9.5	2.69	0.5
	7.5	0.37	14.5	0.05	0.5
20	2.5	0.47	11.5	2.25	0.5
	5.0	0.31	13.5	0.85	0.5
	7.5	0.25	18.5	0.01	1.5
25	2.5	0.40	18.5	0.35	13.5
	5.0	0.29	19.5	0.21	16.5
	7.5	0.42	19.5	0.26	21.5
30	2.5	0.37	20.5	0.33	23.5
	5.0	0.28	22.5	0.29	24.5
	7.5	0.37	22.5	0.37	22.5

стратификации) плюм сточных вод может быть существенно больше (до 2.0–3.5 км²) и подняться к поверхности [9, 5].

Гидрологические параметры вод района в 2017 г. В июне 2017 г. пространственное и вертикальное распределение температуры воды в Севастопольской бухте было характерным для этого времени года [1, 13]. В конце октября наблюдались повышенные значения температуры воды (на 2.0–2.5°C выше среднемноголетних значений) и почти по всей акватории бухты наблюдалось однородное распределение температуры воды по вертикали (гомотермия). Исключение составлял участок у входа в бухту, где в придонном слое наблюдалась адвекция холодных (14.1–14.5°C) и соленых (18.26–18.52‰) вод открытой части Черного моря.

Данные ноябрьской съемки в районе глубоководного выпуска КОС «Южные» в Голубой бухте выявили, что вертикальное распределение температуры воды в районе оголовка диффузора и месте повреждения трубопровода соответствовало переходному периоду от летнего типа вертикальной стратификации температуры воды к зимнему [8, 9]. В результате выхолаживания на поверхности моря сформировался верхний квазиоднородный слой (ВКС) толщиной до 30–35 м с температурой воды 14.1–14.4°C и условной плотностью 13.33–13.37. Затем до глубины 70–75 м температура воды постепенно убывала до 8.6°C. Сезонный пикноклин

в результате ветро-волнового и конвективного перемешивания уже был полностью разрушен. Постоянный пикноклин, соответствующий основному галоклину, залегал на глубине 70 м. В районе повреждения трубопровода скорости течений составляли 12–18 см/с при максимальных значениях 13–21 см/с. В целом, распределение плотности в районе сброса КОС «Южные» 7 ноября 2017 г. было таково, что диффузор основного оголовка находился под слоем скачка плотности. В точке повреждения магистрали трубопровода, в условиях слабой стратификации плотности, как показано в [9], загрязненные воды могли достигать поверхности акватории Голубой бухты и растекаться по ней слоем толщиной до 1–2 м.

Гидрохимические условия и загрязнение Севастопольской бухты и вод взморья. В 2016 г. СО ФГБУ «ГОИН» на НИС «Пеленг» выполнило две гидролого-гидрохимические съемки в августе и октябре на взморье Севастополя и в Севастопольской бухте. В 2017 г. сделано 7 съемок с мая по ноябрь на 27 станциях, отобрано 89 проб воды и выполнено 1728 анализов и измерений гидрохимических показателей, таких как растворенный кислород, БПК₅, щелочность, формы азота и фосфора, нефтяные углеводороды. Результаты гидрохимических наблюдений сравнивались с имеющимися данными за предыдущие годы и установленными нормативами [10]. Были проанализированы случаи отклонений от харак-

терных/средних значений показателей гидрохимического режима.

Летом и осенью 2016 г. в Севастопольской бухте концентрация кислорода была существенно ниже, чем в предыдущие годы. Наиболее низкая концентрация растворенного кислорода ($5.88 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, 69% насыщения) наблюдалась в центре бухты на придонном горизонте станции в районе Старосеверной бухты на глубине 17 м при аномально высокой температуре воды 18.1°C . Вероятной причиной наблюдающейся аномалии на этой станции является сброс льяльных вод с судов, выполняющих регулярные перевозки по внутреннему рейду Севастополя. Остальные значения в бухте в 2016–2017 гг. варьировали в диапазоне $7.10\text{--}9.96 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, что существенно выше норматива ПДК = $6.0 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$.

В бухте и в водах взморья концентрация фосфора фосфатов варьировала в узком диапазоне $1\text{--}8 \text{ мкг}/\text{дм}^3$, а общего фосфора — $6\text{--}48 \text{ мкг}/\text{дм}^3$, что в целом в пределах значений предыдущего периода (табл. 5). Концентрация соединений азота не выходила за границы ранее фиксируемых значений, однако максимальное содержание аммонийного азота в бухте более 2 раз превышало предыдущий экстремум.

В 2017 г. зафиксированные значения концентрации фосфатов были существенно выше предыдущего года: $1.8\text{--}19 \text{ мкг}/\text{дм}^3$, в среднем $6.27 \text{ мкг}/\text{дм}^3$; $1\text{--}30/5.27 \text{ мкг}/\text{дм}^3$ в Севастопольской бухте и на взморье соответственно. Аналогичные значения для общего фосфора составили $8\text{--}27/15.7$ и $6\text{--}51/15.4 \text{ мкг}/\text{дм}^3$. Повышенная концентрация соединений фосфора была отмечена в районе мыса Лукулл и могла быть связана с влиянием выпуска сточных вод пос. Андреевка.

Содержание аммонийного азота в водах района в 2017 г. в целом было существенно ниже допустимого норматива, а наибольшее значение достигало $134 \text{ мкг}/\text{дм}^3$ в бухте Южной недалеко от выпуска сточных вод. В Севастопольской бухте концентрация аммония достигала $42 \text{ мкг}/\text{л}$ в Троицкой бухте в начале июля.

Проведенные в последнее десятилетие наблюдения в системе мониторинга показали отсутствие превышения уровня ПДК для всех форм биогенных элементов в морской воде даже по максимальным значениям (табл. 5). Зафиксированные средние и максимальные значения концентрации фосфатов в Севастопольских бухтах и на взморье района были в целом немно-

го пониженными по сравнению с Керченским проливом и особенно с водами акватории порта Ялта. Однако величины общего фосфора очевидно были намного более высокими в проливе, а наименьшими в порту Ялта и в Севастопольской бухте. Содержание различных форм азота в водах Крыма было примерно одинаковым в контролируемых районах. При этом следует отметить существенно более высокие показатели нитратов и силикатов в водах Ялты, возможно из-за близкой к точке отбора проб устьевой области двух местных рек — Дерекойки (Быстрой) в кутовой части порта и Учан-Су (Водопадной) недалеко от конца волнолома.

В 2017 г. величина БПК₅ изменялась в пределах от 0.15 до $3.66 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, при этом норматив был превышен в трех пробах из района ГРЭС и Троицкой бухты. Это может быть следствием высокого содержания растворенного органического вещества в водах. На взморье Севастополя содержание органики в морских водах превышало норматив в 14 пробах из 53 проанализированных (26.4%). Максимум достигал $4.06 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ в поверхностном слое вод у мыса Форос в первой декаде июля, а среднее значение составило $2.19 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Высокие значения БПК₅ также наблюдались в районе выпуска сточных вод пос. Андреевка, вблизи устьев рек Бельбек и Кача, оголовков КОС «Северная» и «Южная», взморье Балаклавской бухты и в Камышовой бухте. Превышение ПДК наблюдалось и на станциях по периметру Гераклеяского полуострова, у мыса Фиолент и Херсонес. В районе Мартыновой бухты повышенное содержание органических веществ, вероятно, связано с расположенным здесь аварийным выпуском КОС и с мидийной фермой, также являющейся донором легкоокисляемой органики.

В июне-июле 2017 г. загрязнение поверхностных вод Севастопольской бухты нефтяными углеводородами изменялось в диапазоне $0.01\text{--}0.07 \text{ мг}/\text{дм}^3$, в среднем $0.04 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (табл. 5). Максимальная величина (1.4 ПДК) была отмечена в центре бухты на судоходном фарватере. На Севастопольском и Балаклавском взморье в мае-июне содержание нефтяных углеводородов в 20 проанализированных пробах было намного выше и варьировало в пределах $0.02\text{--}0.39 \text{ мг}/\text{дм}^3$, в среднем $0.076 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (1.5 ПДК). В 65% проб концентрация НУ равнялась или превышала ПДК = $0.05 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Максимум (7.8 ПДК) был отмечен в придонном слое на глубине 32 м у аэропорта Бельбек. Другие высокие

Таблица 5. Диапазон значений и средняя концентрация биогенных веществ (мкг/дм³) и нефтяных углеводородов (мг/дм³) в морских водах отдельных районов Крыма в 2012–2017 гг.

Район	P-PO ₄	P _{total}	NH ₄	NO ₂	NO ₃	N _{total}	SiO ₃	HУ*
Севастопольская бухта, 2012–2015	0–24/6.5	0–39/14.8	0–59/9.6	0–3.1/1.4	2.4–111/33.7	–	8–241/99	0– 0.31 /0.07
2016	1–6/3.8	7–28/14.6	0–131/28.8	0–2.7/1.2	13–38/23.4	–	–	–
2017	1.8–19/6.3	8–27/15.7	0–42/14.0	0.2–4.2/1.6	4.6–73.3/27.9	–	–	0.01– 0.07 /0.04
Взморье Севастополя, 2012–2015	0–22/1.3	11–50/25.1	4.7–80/33.0	0.2–2.4/1.3	1.3–43/14.5	–	57–83/68.6	0– 0.26 /0.04
2016	1–8/3.4	6–48/16.0	0–83/28.5	0	17–68/29.2	–	–	–
2017	1–30/5.3	6–51/15.4	0–134/12.4	0–4.1/1.6	0–161/22.6	–	–	0.02– 0.39 /0.08
Порт Ялта, 2012–2015	2–31/8.5	4–37/14.4	3–71/27.1	0.5–6.4/2.5	7–372/72.6	100–3983/1124	41–1971/347	0– 0.13 /0.01
2016	2–19/6.8	4–21/10.3	5–42/14.9	0.5–6.9/2.4	6–190/58.0	219–1771/932	165–3088/1011	0–0.05/0.01
2017	2–35/8.6	5–45/15.5	9–32/19.6	0.5–13.5/2.9	2–146/37.6	225–2993/1186	117–2439/615	0–0.03/0.01
Керченский пролив, 2012–2015	0–40/2.5	0–52/21.7	0–173/35.3	0–9.0/0.6	0–39/5.7	80–1040/493	30–1100/330	0– 0.30 /0.04
2016	1–36/12.8	14–56/29.5	0–92/29.5	1.0–7.0/2.9	4–55/19.5	90–984/395	30–550/285	0– 0.23 /0.03
2017	5–9/6.0	10–125/23.3	20–103/32.0	0.3–17.0/4.4	4–31/12.3	50–1020/373	50–680/266	0– 0.16 /0.04

* Выделены значения выше ПДК.

значения были отмечены у Василевой балки (4 ПДК) и у пос. им. Полины Осипенко (3 ПДК). В предыдущие годы в рамках системы мониторинга концентрация нефтяных углеводородов была исследована в 2015 г. и составляла в среднем в водах взморья Севастопольского района 0.11 мг/дм³ при максимуме 0.26 мг/дм³ (5 ПДК). В Севастопольской бухте эти величины составили 0.07 и 0.31 мг/дм³ соответственно. В 2012 г. соответствующие значения концентрации НУ на взморье составляли 0.014 и 0.033 мг/дм³. В целом, нефтяное загрязнение вод Севастопольского района находится примерно на уровне 1–2 ПДК, однако максимальные значения существенно выше и достигали 8 ПДК.

ВЫВОДЫ

1. Определены основные источники загрязнения вод взморья и бухт Севастополя сточными водами, объемы сбрасываемых стоков и степень их очистки; обследовано состояние выпусков сточных вод.
2. Анализ большого массива регулярных инструментальных наблюдений за течениями на автоматических буйковых станциях и исследования вертикальной стратификации вод показали высокую повторяемость слабых течений (0–4 см/с) в месте повреждения подводного выпуска сточных вод в Голубой бухте в 2017 г. и относительно невысокие изменения плотности вод с глубиной.
3. Распространение зон загрязнения зависит от наличия/отсутствия стратификации и скорости течения. Для прогноза распространения загрязнения из подводного выпуска были использованы результаты численного моделирования, согласно которым малая скорость в месте выпуска и отсутствие существенной стратификации могут обусловить подъем загрязненных вод на поверхность, в т. ч. вблизи берега.
4. Проведенные мониторинговые съемки 2016–2017 гг. позволили зафиксировать повышенное содержание в водах района соединений фосфора, органических веществ (по величине БПК₅) и нефтяных углеводородов, концентрация которых в целом ряде проб превышала ПДК. Поскольку воды взморья значительно более загрязнены нефтяными углеводородами, сделано предположение о преобладающем значении судоходства в определении уровня загрязнения вод района по этому параметру.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-41101 РГО_а «Определение природных гидролого-гидрохимических и антропогенных факторов влияния на качество вод прибрежных акваторий Черного моря у Крыма и Кавказа и разработка практических рекомендаций по снижению антропогенной нагрузки на морские экосистемы»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас океанографических характеристик Севастопольской бухты. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. 320 с.
2. *Бондур В. Г.* Аэрокосмические методы в современной океанологии // Новые идеи в океанологии / Отв. ред. Виноградов М. Е., Лаппо С. С. М.: Наука, 2004. С. 55–117.
3. *Бондур В. Г., Гребенюк Ю. В.* Дистанционная индикация антропогенных воздействий на морскую среду, вызванных заглубленными стоками: моделирование, эксперименты // Исследование Земли из космоса. 2001. № 6. С. 49–67.
4. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2. Черное море. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. 421 с.
5. *Дулов В. А., Юровская М. В., Козлов И. Е.* Прибрежная зона Севастополя на спутниковых снимках высокого разрешения // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 6. С. 43–60.
6. *Еремеев В. Н., Коновалов С. К.* Устойчивость и эволюция океанологических характеристик экосистемы Черного моря. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. 357 с.
7. *Иванов В. А., Белокопытов В. Н.* Океанография Черного моря. Севастополь: МГИ, 2011. 212 с.
8. *Иванов В. А., Овсяный Е. И., Репетин Л. Н. и др.* Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. 90 с.
9. *Иванов В. А., Фомин В. В.* Численное моделирование заглубленного стока в прибрежной зоне Гераклейского полуострова // Морской гидрофизический журнал. 2016. № 6. С. 89–103.
10. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2015 / Под ред. Коршенко А. Н. М.: Наука, 2016. 184 с.
11. *Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., Чепыженко А. А.* Оценка концентрации полей суммарной взвеси и растворенного органического вещества в бухтах крымского побережья на основе данных оптических измерений // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. Вып. 15. С. 168–176.
12. *Мезенцева И. В., Мальченко Ю. А.* Комплексный подход в организации мониторинга загрязнения мор-

- ских вод в прибрежных акваториях Севастополя // Тр. ГОИН. Вып. 216. Исследования океанов и морей. Обнинск: Артифекс, 2015. С. 326–339.
13. *Ренетин Л. Н.* Пространственная и временная изменчивость температурного режима прибрежной зоны Черного моря // Экол. безопасность приоб. и шельф. зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. Сб. научн. тр. НАН Украины, МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ. Севастополь, 2012. Т. 1. Вып. 26. С. 99–116.
 14. *Скопинец Б. А.* Формирование современного химического состава вод Черного моря. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 336 с.
 15. *Трощенко О. А., Ерёмин И. Ю., Субботин А. А. и др.* Термохалинная структура вод на взморье Севастополя и ее влияние на основные параметры продукции мидийной фермы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. Вып. 15. С. 110–119.

SOURCES OF COASTAL WATERS POLLUTION NEAR SEVASTOPOL

© 2019 V. M. Gruzinov, N. N. Dyakov, I. V. Mezenceva, Yu. A. Malchenko,
N. V. Zhohova*, A. N. Korshenko

State Oceanographic Institute, Moscow, Russia

**e-mail: matelot@bk.ru*

Received May 23, 2018

Revised version received August 16, 2018

After revision February 05, 2019

The results of current ecological investigations of marine waters in Sevastopol region are presented. The main sources of water pollution described for Sevastopol Bay and other part of coastal line from cup Lukull till cup Foros were described. The position of Waste Water Treatment Plant underwater outlets, the volume of waste-waters discharges and the degree of their purification were estimated. With the help of the side-scan sonar, the state of the heads of the sewage treatment plants in the region was examined. The features of the vertical distribution of hydrological and hydrochemical characteristics are shown. The preliminary estimation of the currents near the sewages outlets were studied using autonomic buoys and mathematical modeling. Based on historical data and results of recent cruises in 2016–2017 the nutrient concentration, and total petroleum hydrocarbons and organic matter by biological oxygen demand BOD₅ content were described. The nutrients content for all studied forms was much lower then Maximum Allowed Concentration and no significant difference between different parts of Crimea coastal waters were marked. Marine waters pollution by TPHs is much higher in Sevastopol region and in Kerch Strait in comparison with Yalta port.

Keywords: sources of pollution, coastal waters, Sevastopol district, hydrochemical parameters, hydrodynamic factors, the underwater outlet, environmental condition