

Структура и динамика антропогенной нагрузки на прибрежную зону Севастопольского региона

Л. В. Вержевская*, Р. Я. Миньковская

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**e-mail: liudmyla.ver@yandex.ru*

Поступила 03.03.2020 г.; принята к публикации 08.05.2020 г.; опубликована 25.06.2020 г.

Экологическое состояние акватории Севастопольского региона обусловлено, кроме природных факторов, поступлением широкого спектра веществ антропогенного происхождения с речным стоком и сбросами сточных вод. С целью выявления вклада этих источников в загрязнение прибрежной зоны и тенденций концентрации и поступления биогенных и загрязняющих веществ анализировался массив многолетних данных (1998–2018 гг.) Главного управления природных ресурсов и экологии г. Севастополя. В результате обобщения этих данных выполнена современная оценка качества сточных вод, сбросов биогенных (соединения минерального азота и фосфора) и загрязняющих (поверхностно-активные вещества и нефтепродукты) веществ в прибрежную зону Севастополя. Установлено, что причинами положительных тенденций (значимость которых оценивалась по критерию Фишера) концентрации нефтепродуктов и аммонийного азота являются приток населения и увеличение транспортной нагрузки, отмечающиеся с 2014 г. В структуре сбросов преобладают нитраты и аммонийный азот. Полученные результаты могут быть использованы для расчета составляющих баланса растворенных веществ, оценки антропогенной нагрузки на акватории, их ассимиляционной емкости, а также регулирования хозяйственной деятельности и усовершенствования природопользования для устойчивого развития региона.

Ключевые слова: антропогенная нагрузка, качество сточных вод, прибрежные акватории Севастополя.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей».

Для цитирования: Вержевская Л. В., Миньковская Р. Я. Структура и динамика антропогенной нагрузки на прибрежную зону Севастопольского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 2. С. 92–106. doi:10.22449/2413-5577-2020-2-92-106

© Вержевская Л. В., Миньковская Р. Я., 2020



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Structure and Dynamics of Anthropogenic Load on the Coastal Zone of the Sevastopol Region

L. V. Verzhevskaya*, R. Ya. Minkovskaya

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

*e-mail: liudmyla.ver@yandex.ru

Submitted 03.03.2020; revised 08.05.2020; published 25.06.2020

The ecological state of the Sevastopol water area is determined, in addition to natural factors, by the intake of a wide range of substances of anthropogenic origin from the river runoff and wastewater discharges. In order to estimate the contribution of these sources to pollution of the coastal zone and trends in concentration and intake of nutrients and pollutants, an array of long-term data for 1998–2018 from the Main Department of Natural Resources and Ecology of the city of Sevastopol was analyzed. As a result of generalization, a contemporary assessment was made of wastewater quality, as well as discharges of nutrients (mineral nitrogen and phosphorus compounds) and pollutants (surface active agents and oil products) into the coastal zone of Sevastopol. It is found that the reasons for the positive trends (their significance was assessed by the Fisher test) in the concentration of oil products and ammonium nitrogen are population growth and traffic load increase since 2014. Nitrates and ammonium nitrogen predominate in the structure of discharges. The obtained results can be used to calculate the components of the balance of dissolved substances, anthropogenic load on water areas, their assimilation capacity, as well as to regulate economic activity and improve environmental management for sustainable development of the region.

Keywords: anthropogenic load, wastewater quality, coastal water of Sevastopol.

Acknowledgements: the research is performed under state order on topic No. 0827-2018-0004 “Complex interdisciplinary research of oceanological processes, which determine functioning and evolution of the Black and Azov Sea coastal ecosystems”.

For citation: Verzhevskaya, L.V. and Minkovskaya, R.Ya., 2020. Structure and Dynamics of Anthropogenic Load on the Coastal Zone of the Sevastopol Region. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 92–106. doi:10.22449/2413-5577-2020-2-92-106 (in Russian).

Введение

Основными источниками загрязнения прибрежных акваторий Севастопольского региона являются сток рек (Кача, Бельбек, Черная) и сбросы сточных вод [1, 2]. При этом сбросы сточных вод в реки влияют на морские акватории опосредованно: с одной стороны, речная вода способствует разбавлению стоков, а с другой – по мере продвижения к морю процессы ее загрязнения могут усиливаться другими источниками поступления загрязняющих веществ (смыв с берега, эрозия почв, неучтенные 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. Часто створы, где производятся измерения расхода воды и концентрации растворенных веществ, не совпадают или удалены от устья реки на значительное расстояние (р. Кача), что

также усложняет оценку поступления БВ и ЗВ, выносимых реками в море. Однако такая оценка была выполнена и представлена в работе авторов [3].

Более точно можно оценить поступление БВ и ЗВ со сточными водами, непосредственно сбрасываемыми в прибрежные морские акватории. Эти сбросы осуществляются как глубоководными, так и поверхностными канализационными системами Государственного унитарного предприятия города Севастополя «Водоканал» (ГУПС «Водоканал») и другими водопользователями. Контроль над соблюдением нормативов предельно-допустимых сбросов осуществляет Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя (Севприроднадзор).

При неблагоприятных гидрометеорологических условиях и аварийных сбросах суммарное влияние сточных вод и речного выноса на акваторию Севастополя, по приближенным оценкам, распространяется на площадь до 300 км², что может нанести существенный ущерб экономике и экологии региона. Поэтому оценка влияния сточных вод на водную среду Севастополя актуальна, особенно с учетом перспектив развития региона.

Преыдушие исследования антропогенной нагрузки на прибрежные акватории немногочисленны. В работе [4] уделяется внимание загрязнению ливневых сточных вод, в работе [5] тезисно приводится анализ источников стоков ГУПС «Водоканал» и структура суммарных сбросов сточных вод, поступавших в прибрежные акватории Севастополя в 2001–2014 гг. Работа [6] посвящена характеристике источников загрязнения прибрежных вод Севастопольского района – рассмотрено пять водовыпусков хозяйственно-бытовых и ливневых сточных вод, сток малых рек. Там же приводятся результаты гидролого-гидрохимического мониторинга прибрежных вод вблизи источников загрязнения (в 2017 и 2018 гг.), нормативы предельно-допустимых сбросов и средние многолетние (за 1995–2008 гг.) оценки качества речных вод. Однако в указанных работах не показано, сбросы каких именно ингредиентов имеют наибольший вес в структуре поступления сточных вод в прибрежную зону из основных источников загрязнения, а также отсутствует анализ изменчивости концентрации БВ и ЗВ в сточных водах.

Цель работы – выявить тенденции и определить структуру учитываемой антропогенной нагрузки на прибрежные морские акватории Севастопольского региона.

Полученные результаты могут быть использованы для определения импактных акваторий, моделирования и прогноза процессов загрязнения прибрежной зоны, разработки методологии рационального природопользования и технологии управления сложными эколого-экономическими системами берег – море [7].

Материалы и методы

Информационной базой работы являлись сведения об объемах сбросов, содержании БВ и ЗВ в сточных водах (за 1998–2018 гг.), предоставленные Севприроднадзором на основании данных отчетности водопотребителей по форме № 2-ТП (водхоз) «Сведения об использовании воды». Концентрация взвешенных веществ, сульфатов, хлоридов, фосфатов, нитритов, нитратов, аммонийного азота, железа, меди, цинка, никеля, марганца, алюминия, поверхностно-активных веществ (ПАВ), нефтепродуктов (НП), биологичес-

кого потребления кислорода за 5 дней (БПК₅), биологического потребления кислорода за 20 дней (БПК₂₀), химического потребления кислорода (ХПК), сухого остатка, жиров определялась стандартными методиками в сертифицированных гидрохимических лабораториях в соответствии с утвержденными Правилами ¹⁾.

Обобщение выполнялось по данным о сбросах биогенных (нитриты, нитраты, аммонийный азот и фосфаты) и загрязняющих веществ (ПАВ, НП) основными канализационными коллекторами. Объемы сбросов БВ и ЗВ рассчитывались как произведение средней концентрации соответствующего вещества в сточных водах и их объема. Значимость тенденций оценивалась с помощью *F*-критерия (критерия Фишера) для вероятности неравенства нулю углового коэффициента на уровне 99 и 95 % [8].

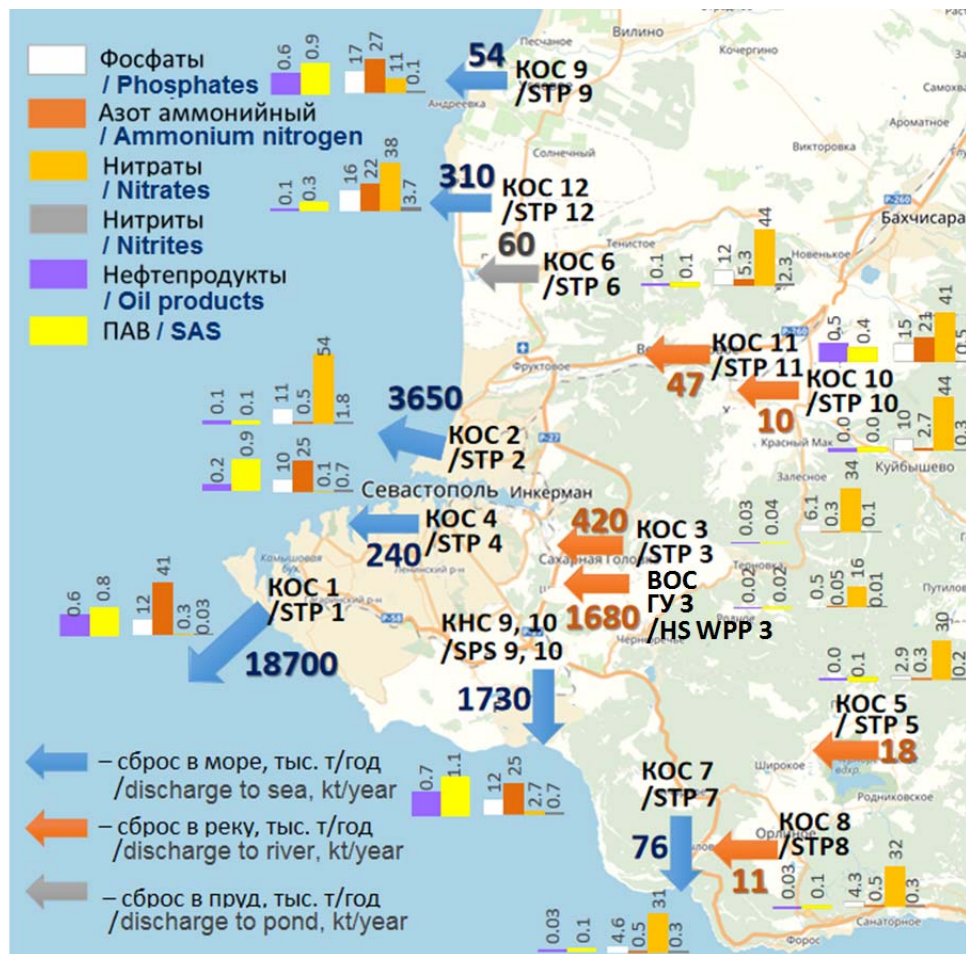
Результаты и обсуждение

По данным Севприроднадзора, в г. Севастополе наибольшее влияние на прибрежные акватории оказывал ГУПС «Водоканал» – крупнейший водопотребитель в регионе, сбрасывающий сточные воды в реки, море и другие объекты окружающей среды. Сеть ГУПС «Водоканал» представлена на рис. 1. Более детально (включая аварийные сбросы) источники антропогенного загрязнения показаны в работе [1]. На рис. 1 приведены средние многолетние объемы сбросов сточных вод и средние многолетние концентрации рассматриваемых БВ и ЗВ. Из него видно, что наибольшую нагрузку на морскую акваторию г. Севастополя оказывают сбросы КОС 1 «Южные» (КОС – канализационные очистные сооружения), доля которых в общей сумме сбросов в море составляет в среднем 76 %. Высокая концентрация аммонийного азота (41 г/м³) и нефтепродуктов (0.6 г/м³) в сточных водах этого коллектора свидетельствует об их недостаточной очистке.

В рассматриваемый 21-летний период отмечалась нестабильность хозяйственной деятельности, спад производства, убыль населения (а затем, с 2014 г., его прирост), соответственно изменялись объемы сбросов сточных вод (см. таблицу). По данным Севприроднадзора, в последние пять лет доля сброса загрязненных сточных вод в общем объеме стоков крупных водопользователей возросла на 8 %. По сравнению с предшествующим периодом (1998–2013 гг.) сбросы загрязненных сточных вод без очистки уменьшились на 67 %, а недостаточно очищенных вод стало сбрасываться на 17 % меньше. Сведения о количестве сбрасываемых нормативно очищенных и нормативно чистых вод в информации, представленной Севприроднадзором, не приводятся, что затрудняет анализ материалов.

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

¹⁾ Правила осуществления контроля состава и свойств сточных вод (утв. постановлением Правительства РФ от 21 июня 2013 г. N 525).
URL: https://base.garant.ru/70403136/#block_1000 (дата обращения: 11.02.2020).



Р и с . 1. Сеть ГУПС «Водоканал», объемы сбросов (тыс. т) и средняя концентрация биогенных и загрязняющих веществ в сточных водах (г/м³) в 1998–2018 гг. КОС – канализационные очистные сооружения; КНС – канализационная насосная станция; ГУ – гидроузел

Fig. 1. Network of state unitary enterprise of Sevastopol “Vodokanal”, discharge volumes (TT) and average concentration of nutrients and pollutants in wastewaters (g/m³) in 1998–2018 STP – sewage treatment plant; SPS – sewage pumping station; HS – hydrosystem

падения в 2014 г.) и индекса промышленного производства²⁾, увеличивались приток населения и его автомобилизация (рис. 2), возрастало загрязнение и замусоривание территорий и прибрежных акваторий из нецентрализованных источников (см. рис. 3, b).

Таким образом, в межгодовой изменчивости объемов сбросов сточных вод выделялось два периода:

1) уменьшение сбросов сточных вод с 1998 по 2013 г. из-за изменения структуры экономики и убыли населения;

²⁾ Україна у цифрах 2017. Київ : ДП «Інформаційно-аналітичне агентство», 2018. 241 с.

Тренды объемов сточных вод, концентрации и сбросов биогенных и сбросов биогенных и загрязняющих веществ основными водовыпусками г. Севастополя за 1998–2018 гг.

Trends of wastewater volumes, concentrations and discharge of nutrients and pollutants by Sevastopol major outlets for 1998–2018

Водовыпуски / Discharge outlets	Объем стоков, тыс. м ³ /год / Discharge volume, ths. of m ³ /yr	Азот аммонийный / Ammonium nitrogen		Нитраты / Nitrates		Нитриты / Nitrites		Фосфаты / Phosphates		НП / OP		ПАВ / SAS	
		C, г/м ³ / g/m ³	M, т/год / t/yr	C, г/м ³ / g/m ³	M, т/год / t/yr	C, г/м ³ / g/m ³	M, т/год / t/yr	C, г/м ³ / g/m ³	M, т/год / t/yr	C, г/м ³ / g/m ³	M, кг/год / kg/yr	C, г/м ³ / g/m ³	M, кг/год / kg/yr
КОС 1 «Южные» / STP 1 "Yuzhnyye"	-468	0.780	-3.270	-0.01	-0.40	-0.010	-0.180	-0.25	-1.320	0.060	990	-0.020	-950
КОС 2 «Северные» / STP 2 "Severnyye"	-137	-0.003	-0.080	0.43	-5.90	0.080	0.080	0.19	-0.590	0.001	-2.30	0	-1.18
КНС 9, 10, Балаклава / SPS 9, 10, Balaklava	-71	1.200	0.360	0	-0.16	-0.004	-0.060	0.10	-0.690	0.110	8.40	0.010	-69.30
КОС 7, Ласпи / STP 7, Laspi	-4.3	0.010	-0.001	0.62	-0.07	0.020	0	0.18	0	0.010	-0.02	0	-0.21
КОС 9, Андреевка / STP 9, Andreevka	-7.2	-1.400	-0.090	-0.07	-0.01	0.001	0	-0.19	-0.040	-0.020	-1.78	-0.070	-4.38
КОС 12, Кача / STP 12, Kacha	-0.6	-0.480	-0.270	1.80	0.17	-0.050	-0.030	-0.26	0	0	-2.89	0	-1.04
КОС 5, Озерное / STP 5, Ozernoye	0.6	0.008	0.001	0.86	0.05	0.020	0.001	0.04	0.005	0.010	0.14	0	0.27
КОС 3, Сахарная головка / STP 3, Sakharная Golovka	-1.1	0.010	-0.002	-0.87	-0.95	0.001	0	-0.11	-0.130	0	-0.57	0	-0.71

Водовыпуски / Discharge outlets	Объем стоков, тыс. м ³ /год / Discharge volume, ths. of m ³ /yr	Азот аммонийный / Ammonium nitrogen		Нитраты / Nitrates		Нитриты / Nitrites		Фосфаты / Phosphates		НП / OP		ПАВ / SAS	
		C, г/м ³ / g/m ³	M, т/год / t/yr	C, г/м ³ / g/m ³	M, т/год / t/yr	C, г/м ³ / g/m ³	M, т/год / t/yr	C, г/м ³ / g/m ³	M, т/год / t/yr	C, г/м ³ / g/m ³	M, т/год / t/yr	C, г/м ³ / g/m ³	M, т/год / t/yr
ВОС ГУ 3 / HS WPP 3	1.8	0	0.002	1.50	2.67	0	0	0	0	-0.001	-0.80	0	0.09
КОС 10, Фронтное / STP 10, Frontovoye	-0.2	0.010	-0.001	0.21	0	0	0	-0.62	-0.010	0.004	0.02	0.003	0
КОС 11, Верхне- садовое / STP 11, Verkhnesadovoye	2.2	-3.600	-0.060	1.70	0.12	0.020	0.004	-1.70	-0.010	-0.070	-0.34	-0.060	-0.32
КОС 8, Тыловое / STP 8, Tylovoye	-0.5	0	0	0.65	-0.01	0.050	0	0.11	0	0.010	0.06	0	-0.01
КОС 6, Орловка / STP 6, Orlovka	1.3	-0.960	-0.040	1.90	0.17	-0.090	0	-0.12	0.010	-0.010	-0.22	-0.006	-0.03
КОС 4, ЧВВМУ / STP 4, BSHNS	4.2	0.200	-0.050	0.03	0	0	0	0.03	-0.030	-0.010	-3.05	-0.010	-8.37
Аварийные сбросы / Emergency discharges	-11	0.230	-0.250	0.02	0.01	0	0	-0.18	-0.110	-0.010	-2.19	-0.080	-1.19

Примечание: КОС – канализационные очистные сооружения; КНС – канализационная насосная станция; ВОС ГУ – водопроводные очистные сооружения гидроузла; ЧВВМУ – Черноморское высшее военно-морское училище; НП – нефтепродукты; ПАВ – поверхностно-активные вещества; С – концентрация; М – сброс. Значимые тенденции выделены полужирным шрифтом.

Note: STP – sewage treatment plant; SPS – sewage pumping station; HS WPP – water purification plant of hydrosystem; BSHNS – Nakhimov Black Sea Higher Naval School, Sevastopol; OP – oil products; SAS – surface-active substances; C – concentration; M – discharge. Significant trends are given in bold.

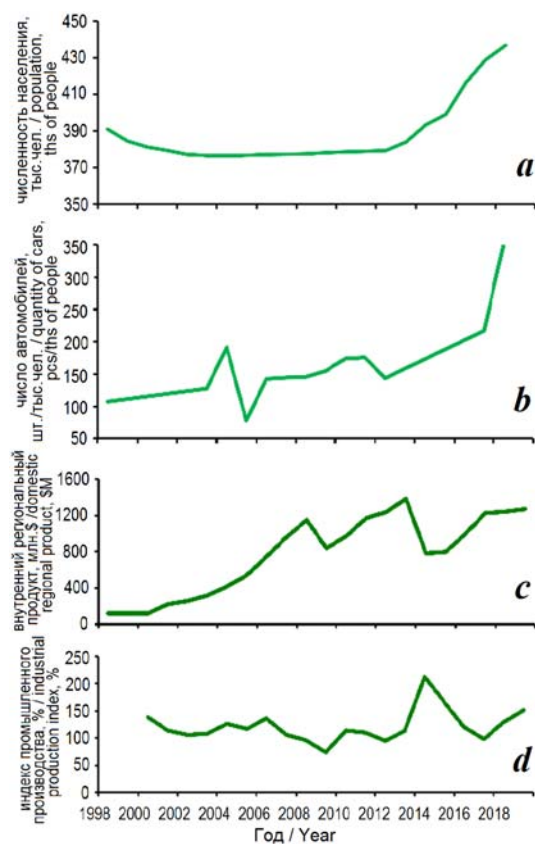


Рис. 2. Динамика численности населения, тыс. чел. (а), обеспеченности автомобилями, шт./тыс. чел. (b), внутреннего регионального продукта, млн долл. США (с), индекса промышленного производства, % (d)

Fig. 2. Dynamics of population, ths of ppl. (a), car availability, pcs/thousands of ppl. (b), domestic regional product, \$M (c), industrial production index, % (d)

2) увеличение сбросов сточных вод с 2014 по 2018 г. из-за притока населения, увеличения количества транспортных средств и активизации хозяйственной деятельности.

Хотя во втором периоде в регионе и отмечалось увеличение объемов сточных вод, поступавших в акваторию Севастополя (КОС 1 «Южные» и КНС 9 в Балаклаве), тенденции были незначимы. Поэтому за весь период наблюдений (1998–2018 гг.) преобладало уменьшение поступления сточных вод в прибрежную акваторию из контролируемых источников загрязнения (см. таблицу, рис. 4, a).

В то же время тенденции объемов сбросов сточных вод в сельской местности (в основном сбросы в реки и пруды) были положительными. Увеличивались сбросы сточных вод в населенных пунктах Орловка, Верхнесадовое, Озерное, Штурмовое. Количество несанкционированных свалок мусора вдоль побережья также возрастало (см. рис. 3, b).

Выявлены значимые разнонаправленные тенденции концентрации биогенных и загрязняющих веществ (см. таблицу,

рис. 4) в сточных водах г. Севастополя. Увеличивалась концентрация аммонийного азота в южной части Севастопольского региона и Балаклаве, нитратов – в стоках населенных пунктов Ласпи, Кача, Озерное, Штурмовое, Верхнесадовое, Тыловое и Орловка, нитритов – в стоках КОС 2 «Северные» и КОС 3 в пос. Сахарная Головка, фосфатов – в стоках КОС 5 в с. Озерное. Концентрация нефтепродуктов увеличивалась в сбросах КОС 2 «Северные», КОС 5, с. Озерное, КОС 10, с. Фронтное и КОС 8, с. Тыловое. В то же время уменьшалась концентрация нитратов в сточных водах КОС 1, КОС 3, нитритов (КОС 1) и фосфатов (КОС 1, КОС 3, КОС 10 и КОС 11). Уменьшение содержания нефтепродуктов отмечалось в сточных водах сел Штурмовое, Верхнесадовое и Орловка, а ПАВ – в стоках КОС 4, КОС 6, КОС 11 и в аварийных сбросах (см. таблицу).

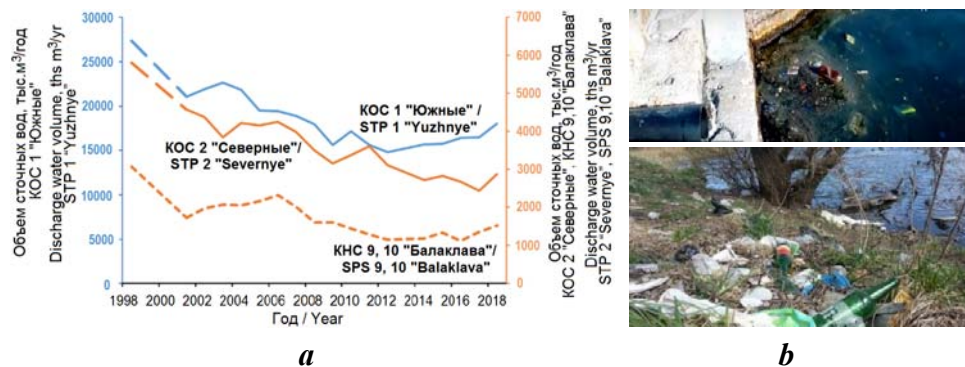


Рис. 3. Межгодовая изменчивость объемов сточных вод (а) и загрязнение прибрежной акватории и побережья из нецентрализованных источников (б)

Fig. 3. Interannual variability of wastewater volumes (a) and pollution of coastal water and shores from individual sources (b)

Поскольку в работе [9] приводятся сведения об увеличении концентрации (без оценки значимости трендов) нитратов и фосфатов в воде Севастопольской бухты с 2014 г., можно предположить, что сбросы этих биогенных веществ в сточных водах, поступающих в Севастопольскую бухту, также увеличились.

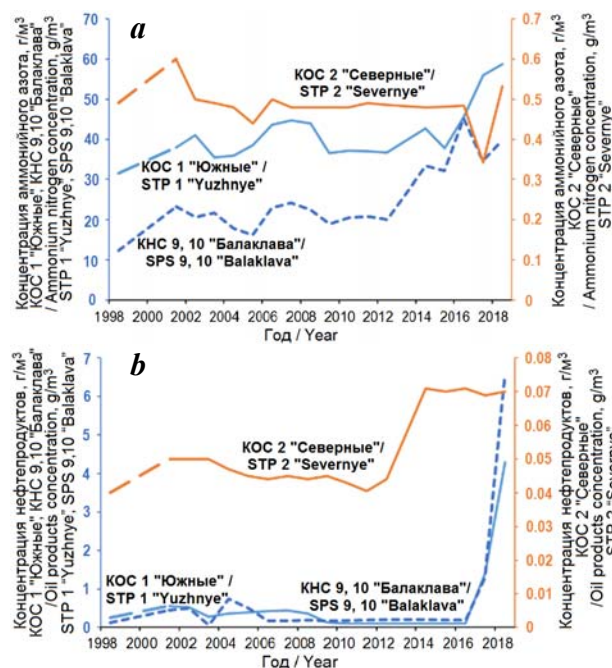


Рис. 4. Изменчивость средней годовой концентрации аммонийного азота (а) и нефтепродуктов (б) в сточных водах г. Севастополя

Fig. 4. Variability of average annual concentration of ammonium nitrogen (a) and oil products (b) in wastewater of Sevastopol

Увеличение концентрации аммонийного азота в сточных водах основных водовыпусков г. Севастополя (см. рис. 4) связано с ростом населения в последнее пятилетие. Также возросла нагрузка на очистные и сбросные сооружения города (см. рис. 2, а; 3, а). Увеличение количества автомашин, активизация производственной деятельности привели к росту содержания нефтепродуктов в сточных водах (см. рис. 3, б – д; рис. 5). Существенное увеличение концентрации нефтепродуктов в сточных водах и их сбросов отдельными водовыпусками (см. таблицу) может быть связано с нарушением природоохранного законодательства предприятиями по обслужи-

ванию автотранспорта и другими предприятиями, на которых отсутствуют очистные сооружения и замкнутые системы водопользования.

Сбросы биогенных веществ и ПАВ в основном зависели от объемов сточных вод, поэтому они имели значимые тенденции к уменьшению (см. таблицу). Однако поступление нефтепродуктов и аммонийного азота увеличивалось (рис. 5) и не было связано с изменением объема сточных вод (коэффициенты корреляции 0.2 и 0.5 соответственно). Несмотря на значимые отрицательные тренды объема сточных вод, тенденции сбросов аммонийного азота и НП отдельными КОС были незначимы. Следовательно, причиной роста сбросов этих веществ было увеличение их концентрации в сточных водах. Так, сбросы нефтепродуктов со сточными водами увеличивались в среднем на 0.02–8.40 кг/год (см. таблицу).

Таким образом, антропогенная нагрузка на прибрежную акваторию города обусловлена объемами загрязненного речного стока и сбросами канализационных коллекторов непосредственно в морскую воду.

Сравнение структуры выноса реками и сброса сточных вод, а также вклада отдельных, наиболее крупных, источников в общий объем поступлений БВ и ЗВ в прибрежные воды представлено на рис. 6.

Как видно из рис. 6, *a*, *b*, в структуре сбросов БВ КОС 1 «Южные», в с. Андреевка и КНС в Балаклаве преобладал аммонийный азот (48–76 %), как и в аварийных сбросах, что свидетельствует о недостаточной очистке (или вообще ее отсутствии) сточных вод в этих пунктах. Нитраты в наибольших количествах содержались в сбросах КОС 2 «Северные» и в пос. Ласпи (80–85 %), а также в речном стоке (79–90 %). Содержание нитратов в речном стоке, очевидно, обусловлено смывом удобрений с водосборов рек при стокообразующих осадках и отсутствием эффективной системы канализования в сельской местности, а большое количество этих биогенных веществ в сточных водах города – преобладанием хозяйственно-бытовых стоков, в основном недостаточно очищенных [3]. По этим же причинам отмечалось довольно высокое содержание фосфатов (около 30 % в структуре сбросов) в стоках водовыпусков в с. Андреевка, в г. Балаклаве, а также в аварийных сбросах.

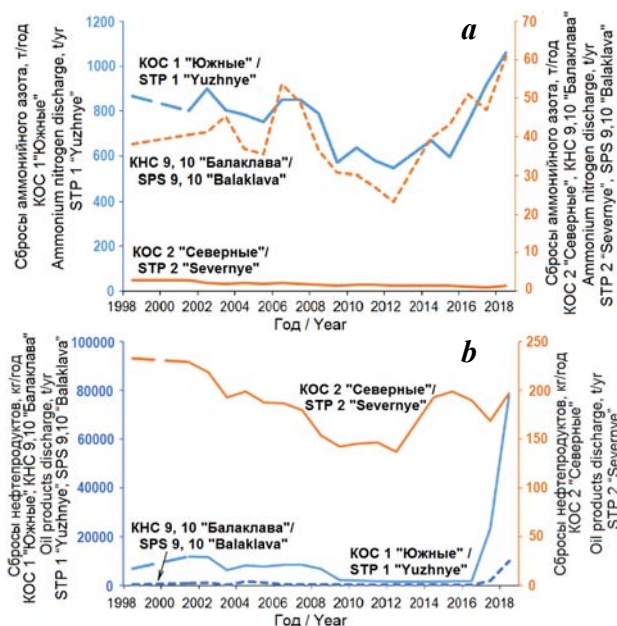


Рис. 5. Динамика сбросов аммонийного азота (*a*) и нефтепродуктов (*b*)

Fig. 5. Dynamics of discharge of ammonium nitrogen (*a*) and oil products (*b*)

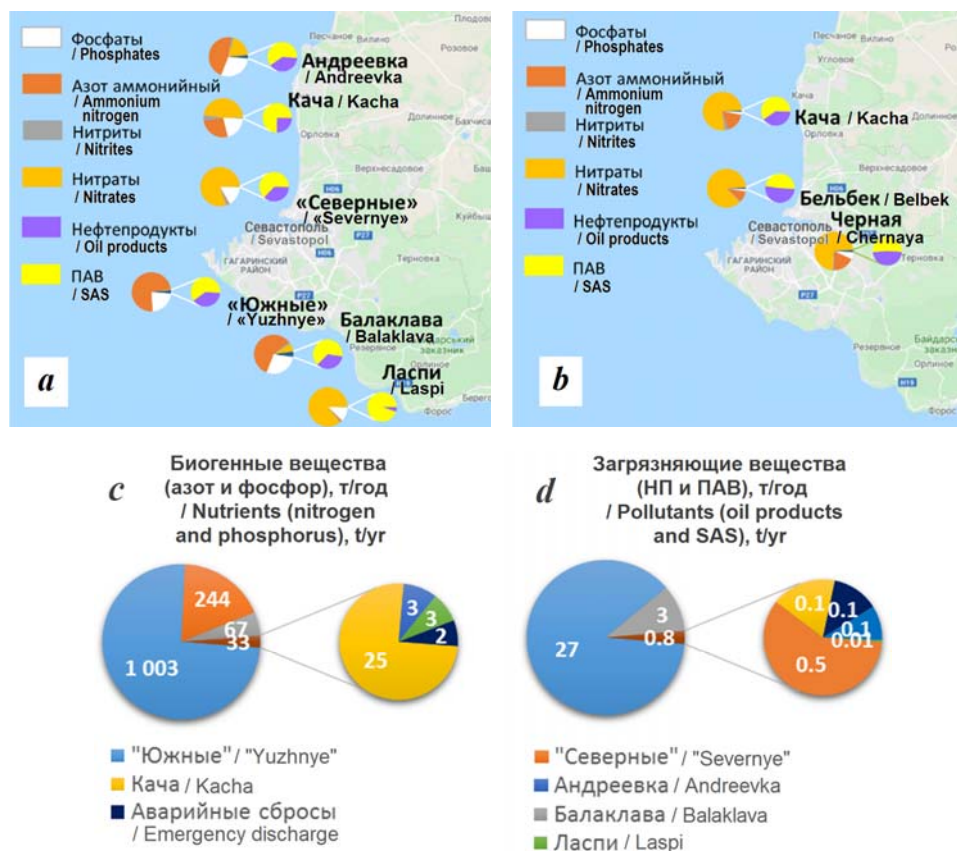


Рис. 6. Структура сбросов сточных вод (а), модуля выноса реками (б) и вклад крупных водовыпусков в загрязнение биогенными (с) и загрязняющими (д) веществами прибрежной зоны моря в Севастопольском регионе в 1998–2018 гг.

Fig. 6. Structure of wastewater discharge (a), river discharge module (b) and contribution of major outlets to pollution with nutrients (c) and pollutants (d) of the sea coastal zone of the Sevastopol region in 1998–2018

Очевидно, в структуре сбросов сточных вод, осуществляемых непосредственно в Севастопольскую бухту [1], также преобладали нитраты, что подтверждается результатами исследований загрязненности воды, представленными в работах [9, 10]. В них показано, что нитратная составляющая в содержании неорганического азота превалирует [10] и концентрация нитратов и фосфатов в Севастопольской бухте до 2012–2013 гг. уменьшалась, а затем начала резко увеличиваться [9].

Структура сбросов нефтепродуктов (НП) и ПАВ (рис. 6, а, б) характеризовалась преобладанием во всех рассматриваемых стоках ПАВ (60–75 %), которые в основном превышали сброс НП. Исключением являлись КОС в пос. Ласпи, где сброс ПАВ составлял 95 % от суммарного количества ЗВ. Что касается рек региона, то доли ПАВ и НП в структуре их модуля стока ЗВ были близки к 50 %, отличаясь в пределах точности определения величин. Основным их источником был, очевидно, смыв этих веществ с площади водосбора рек.

На рис. 6, *c*, *d* показан вклад каждого источника в загрязнение прибрежной акватории г. Севастополя БВ и ЗВ. Установлено, что КОС 1 «Южные» оказывают наибольшую антропогенную нагрузку на прибрежную зону г. Севастополя – в среднем они сбрасывают 74.5 % биогенных и 87.7 % загрязняющих веществ (от суммарных сбросов всех рассмотренных водовыпусков).

По данным Севприроднадзора ³⁾, в настоящее время в морскую прибрежную зону сбрасывается 96 % (65.2 млн м³ в год) сточных, транзитных и других вод, предназначенных для сброса в поверхностные водные источники, 3.2 % сбрасывают в р. Черную (3.7 % ее стока у с. Хмельницкое), по 0.1 % сточных вод поступает в р. Бельбек (0.1 % ее стока у с. Фруктовое) и р. Качу (0.2 % ее стока у с. Суворово), 0.2 % сточных вод поступает в р. Балаклавку.

Учитывая, что в последние пять лет отмечается увеличение сброса сточных вод, загрязненных аммонийным азотом и нефтепродуктами (см. рис. 5) и произошли, по данным Севприроднадзора ³⁾, изменения в структуре сбрасываемых вод (объемы нормативно-очищенных вод уменьшились с 3.3 млн м³ до нуля, загрязненных – возросли с 18.7 до 25.3 млн м³, а сбрасываемых без очистки как нормативно-чистые увеличились в два раза, с 20 до 40 млн м³), можно сделать вывод о возможном в будущем ухудшении экологической обстановки в прибрежной зоне под влиянием антропогенных факторов. Однако, по данным работы [6], нормативы предельно допустимых сбросов рассмотренных БВ и ЗВ очистными сооружениями «Северные», «Южные», ЧВВМУ, в Балаклаве и Ласпи пока не превышены.

Заключение

Установлено, что изменение структуры экономической деятельности и убыль населения в 1998–2013 гг. обуславливали отрицательную тенденцию сбросов загрязняющих веществ, поступавших в прибрежную зону г. Севастополя. С 2014 г. антропогенная нагрузка возрастает, что привело к увеличению сбросов нефтепродуктов и аммонийного азота.

В структуре среднего многолетнего сброса биогенных веществ КОС 1 «Южные», КНС 9, КНС 10 в Балаклаве, КОС 9 в с. Андреевка преобладал аммонийный азот (48–76 %). Сточные воды КОС 2 «Северные» и КОС в поселках Ласпи и Кача подвергались дополнительной биологической очистке, поэтому доля аммонийного азота в их стоке была значительно меньше доли нитратного азота (48–85 %). Азот нитратный также преобладал в речном стоке: его доля в воде рек Кача, Бельбек и Черной составляла 79–90 %.

Поверхностно активных веществ из всех водовыпусков попадало в море в среднем в два раза больше, чем нефтепродуктов. Доля ПАВ в структуре централизованных сбросов составляла 61–95 %, а в стоке рек была примерно одинаковой (около 50 %).

³⁾ Доклад о состоянии и охране окружающей среды города федерального значения Севастополя в 2014 году. Севастополь, 2015. 40 с. ; Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города федерального значения Севастополя за 2015 год. Севастополь, 2016. 147 с. ; Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2017 год. Севастополь, 2018. 319 с. ; Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2018 год. Севастополь, 2019. 311 с.

Реконструкция КОС 1 «Южные» (с полным циклом биологической очистки воды) и КОС 6 в с. Орловка, канализование г. Балаклавы и сельских населенных пунктов будут способствовать снижению антропогенной нагрузки на прибрежную зону г. Севастополя.

Результаты работы могут использоваться для количественных оценок баланса биогенных и загрязняющих веществ, поступающих в море в Севастопольском регионе, ассимиляционной емкости прибрежных акваторий, зон влияния сточных вод на море, прогноза будущего состояния водной среды в условиях активизации хозяйственной деятельности и роста населения. Также они могут быть применены для разработки моделей функционирования экосистемы акватории г. Севастополя и быть основой для выработки предложений по рациональному природопользованию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные источники загрязнения морской среды Севастопольского региона / Е. И. Овсяный [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2001. Вып. 2. С. 138–152.
2. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / В. А. Иванов [и др.]. Севастополь : МГИ НАНУ, 2006. 90 с. URL: http://mhi-ras.ru/assets/files/gidrologo-gidrohimicheskij_rezhim_sevastopolskoj_buhty_2006.pdf (дата обращения: 25.05.2020).
3. Миньковская Р. Я., Вержевская Л. В. Оценка качества воды рек Севастопольского региона для определения антропогенной нагрузки на прибрежную часть Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2016. № 2. С. 93–101.
4. Беляева О. И. О загрязнении ливневых стоков, поступающих в прибрежную зону Черного моря (обзор) // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Сер. «География». 2012. Т. 25(64), № 2. С. 20–27.
5. Вержевская Л. В., Миньковская Р. Я. О загрязнении прибрежной акватории Севастопольского региона сточными водами // Геоэкология и природопользование: актуальные вопросы науки, практики и образования: материалы Всероссийской научно-практической юбилейной конференции (Симферополь, 17–20 октября 2018 г.). Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2018. С. 99–102. URL: https://pure.spbu.ru/ws/portalfiles/portal/37281308/_pdf (дата обращения: 25.05.2020).
6. Источники загрязнения прибрежных вод Севастопольского района / В. М. Грузинов [и др.] // Океанология. 2019. Т. 59, № 4. С. 579–590. doi:10.31857/S0030-1574594579-590
7. Игумнова Е. М., Тимченко И. Е. Эколого-экономические модели природопользования в прибрежной зоне моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. Вып. 4. С. 81–88. doi:10.22449/2413-5577-2019-4-81-88
8. Пановский Г. А., Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии. Л. : Гидрометеиздат, 1972. 209 с.
9. Orekhova N. A., Varenik A. V. Current hydrochemical regime of the Sevastopol Bay // Physical Oceanography. 2018. Vol. 25, iss. 2. P. 124–135. doi:10.22449/1573-160X-2018-2-124-135
10. Совга Е. Е., Мезенцева И. В. Экологическое состояние центральной части акватории Севастопольской бухты в зависимости от уровня антропогенной нагрузки // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. Вып. 3. С. 52–60. doi:10.22449/2413-5577-2019-3-52-60

Об авторах:

Вержевская Людмила Владимировна, ведущий специалист, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID: 0000-0002-1547-7966**, **ResearcherID: R-4253-2018**, **SPIN-код: 7309-7879**, ludmyla.ver@mhi-ras.ru

Миньковская Роза Яковлевна, старший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-7936-3490**, **SPIN-код: 3912-8140**, rosmink@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Вержевская Людмила Владимировна – сбор и систематизация данных, статистический анализ характеристик качества сточных вод и оценка сбросов биогенных и загрязняющих веществ, подготовка графического материала и иллюстраций, анализ результатов, доработка текста, выводы

Миньковская Роза Яковлевна – идея исследования, формулировка цели и задач, расчет и оценка значимости тенденций качества сточных вод и сбросов, анализ результатов, выводы

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Ovsyany, E.I., Romanov, A.S., Min'kovskaya, R.Ya., Krasnovid, I.I., Ozyumenko, B.A. and Zymbal, I.M., 2001. The Most Important Sources of Pollution for the marine Environment of the Coastal Zone of Sevastopol. In: MHI, 2001. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 2, pp. 138–152 (in Russian).
2. Ivanov, V.A., Ovsyany, E.I., Repetin, L.N., Romanov, A.S. and Ignatyeva, O.G., 2006. *Hydrological and Hydrochemical Regime of the Sebastopol Bay and Its Changing under Influence of Climatic and Anthropogenic Factors*. Sevastopol: MHI NAS of Ukraine, 90 p. (in Russian).
3. Minkovskaya, R.Ya. and Verzhetskaya, L.V., 2016. Assessment of Water Quality in the Rivers of Sevastopol Region to Determine the Anthropogenic Load on the Black Sea Coast. In: MHI, 2016. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon Morya* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea]. Sevastopol: MHI. Iss. 2, pp. 93–101 (in Russian).
4. Belayeva, O.I., 2012. Regarding of the Pollution of the Storm Drain in the Coastal Zone of Sea (review). *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Geography Sciences*, 25(2), pp. 20–27 (in Russian).
5. Verzheskaia, L.V. and Minkovskaya, R.Ya., 2018. Investigation of Human Impact on the Coastal Waters of Sevastopol Region. In: V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 2018. *Geoecology and Natural Management: Actual Issues of Science, Practice and Education: Materials of the Pan-Russian Scientific and Practical Conference (Simferopol, October 17–20, 2018)*. Simferopol: PP “ARIAL”, pp. 99–102 (in Russian).
6. Gruzinov, V.M., Dyakov, N.N., Mezenceva, I.V., Malchenko, Yu.A., Zhohova, N.V. and Korshenko, A.N., 2019. Sources of Coastal Waters Pollution near Sevastopol. *Oceanology*, 59(4), pp. 523–532. <https://doi.org/10.1134/S0001437019040076>

7. Igumnova, E.M. and Timchenko, I.E., 2019. Ecological-Economic Models of Natural Resources Management in the Coastal Zone Area. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnoy i Shel'fovoy Zon Morya = Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 81–88. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2019-4-81-88> (in Russian).
8. Panofsky, H.A. and Brier, G.W., 1968. *Some Applications of Statistics to Meteorology*. University Park: Penn. State University, College of Earth and Mineral Sciences, 224 p.
9. Orekhova, N.A. and Varenik, A.V., 2018. Current Hydrochemical Regime of the Sevastopol Bay. *Physical Oceanography*, 25(2), pp. 124–135. doi:10.22449/1573-160X-2018-2-124-135
10. Sovga, E.E. and Mezentseva, I.V., 2019. Ecological Condition of the Central Part of Sevastopol Bay depending on the Anthropogenic Load Level. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnoy i Shel'fovoy Zon Morya = Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 52–60. doi:10.22449/2413-5577-2019-3-52-60 (in Russian).

About the authors:

Lyudmila V. Verzhenskaya, Leading Specialist, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0002-1547-7966**, **ResearcherID: R-4253-2018**, **SPIN-code: 7309-7879**, ludmyla.ver@mhi-ras.ru

Roza Ya. Minkovskaya, Senior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0002-7936-3490**, **SPIN-code: 3912-8140**, rosmink@yandex.ru

Contribution of the authors:

Lyudmila V. Verzhenskaya – collection and classification of data, statistical analysis of wastewater quality characteristics and assessment of nutrient and pollutant discharge, preparation of graphics, results analysis, text refinement, conclusions

Roza Ya. Minkovskaya – research concept, statement of the objective and tasks, calculation and assessment of significance of wastewater and discharge quality trends, results analysis

All the authors have read and approved the final manuscript.