

## Гидрохимический режим реки Черной (Крым): экологические аспекты

Е. И. Овсяный, Н. А. Орехова\*

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*  
\*E-mail: natalia.orekhova@mhi-ras.ru

Поступила в редакцию: 06.09.2017 г. После доработки: 10.10.2017 г.

Приведены характеристики гидрохимических показателей р. Черной и некоторых ее притоков по результатам наблюдений в 2006–2010 гг. Показаны изменения жесткости и уровня загрязнения соединениями минерального азота (нитраты, нитриты, ионы аммония). Результаты исследования позволяют сделать вывод о весьма заметном антропогенном влиянии на химический состав воды, которое закономерно усиливается при низкой норме водности. В экстремальных ситуациях наблюдаются уровни минерализации, жесткости, содержания кальция и биогенных элементов, значительно превышающие санитарно-гигиенические нормативные показатели, установленные для питьевых вод. По течению выше водозабора для питьевого водоснабжения воды р. Черной постоянно загрязняются биогенными элементами и органическими веществами, которые поступают с водами реки-притока Байдарки и поверхностно-склоновым стоком. Оценено соответствие нормативным требованиям качества вод р. Черной, поступающих с паводковым и меженным стоком. Для изменения тенденции к увеличению минерализации речной воды, ее загрязнения органическими веществами и биогенными элементами требуются системные решения экологических задач.

**Ключевые слова:** Крым, река Черная, гидрохимические показатели, жесткость, кальций, биогенные элементы, антропогенное воздействие.

**Для цитирования:** Овсяный Е. И., Орехова Н. А. Гидрохимический режим реки Черной (Крым): экологические аспекты // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34, № 1. С. 82–94. doi:10.22449/0233-7584-2018-1-82-94

## Hydrochemical regime of the River Chernaya (Crimea): Environmental aspects

E. I. Ovsyany, N. A. Orekhova\*

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia*  
\*e-mail: natalia.orekhova@mhi-ras.ru

The hydrochemical parameters' characteristics of the river Chernaya and some its tributaries are represented based on the results of the observations in 2006–2010. The changes both of water hardness and the level of its contamination with the mineral nitrogen compounds (nitrates, nitrites and ammonium ions) are shown. The results of the investigations testify to rather a noticeable anthropogenic effect (increasing at low norm discharge) upon the water chemical composition. The retrospective analysis shows that in the extreme cases, the mineralization, hardness, calcium and nutrient content levels in the river waters significantly exceed the hygiene and sanitary standards for drinking water. The river Chernaya waters (before the water supplying point) are constantly contaminated with the nutrients and organic matter brought by the tribute Baidarka and the slope drainage waters. Consistency of quality of the flood and low runoff waters inflowing the river Chernaya to the normative standards is assessed. Though water hardness exceeds the standards only in the extreme cases, the present trend towards growth of the river Chernaya water mineralization and contamination with organic matter and nutrients requires systemic solving the environmental problems.

**Keywords:** Crimea, river Chernaya, hydrochemical characteristics, water hardness, calcium, nutrients, anthropogenic pressure.

**For citation:** Ovsyany, E.I. and Orekhova, N.A., 2018. Hydrochemical regime of the River Chernaya (Crimea): Environmental aspects. *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*, 34(1), pp. 82-94. doi:10.22449/0233-7584-2018-1-82-94 (in Russian).

Воды р. Черной, аккумулированные в Чернореченском водохранилище, – единственный и основной поверхностный источник водоснабжения Севастополя. При разгрузке в Севастопольскую бухту воды реки в значительной степени определяют ее гидролого-гидрохимический режим и экологическое состояние [1]. После реконструкции (1977–1984 гг.) полный объем Чернореченского водохранилища составляет 64,2 млн. м<sup>3</sup>, утвержденные эксплуатационные запасы – 44,3 млн. м<sup>3</sup>/год. В настоящее время этот источник дает ~ 70–80 % потребляемой городом воды [2]. Поэтому анализ экологического состояния данных акваторий и контроль соответствия используемой воды нормативным требованиям являются актуальными задачами.

Начиная с 1916 г. ведутся регулярные стационарные гидрометрические работы на р. Черной. Крымским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (КрымУГМС) на двух гидропостах измеряются расходы воды в верхнем течении реки (г/п Родниковское), а также расходы и химический состав воды в замыкающем створе (г/п Хмельницкое). Главным управлением природных ресурсов и экологии г. Севастополя (Севприроднадзор) контролируется химический состав воды от верховья до устья в основные гидрологические фазы. Центральная лаборатория питьевой воды ГУПС «Водоканал» и Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе контролируют санитарно-химические показатели воды реки и водохранилища как источников водоснабжения. Требования к качеству питьевой воды определяются санитарно-гигиеническими нормами (СанПиН 2.1.4.1074-01, ГН 2.1.5.1315-03).

Согласно современным представлениям о биологической роли химического состава воды и его влиянии на здоровье населения, причиной некоторых заболеваний может служить избыток или недостаток определенных макро- и микроэлементов. К числу таких элементов относятся кальций и его соли, определяющие жесткость воды.

Жесткость питьевой воды – существенный критерий, по которому оценивается качество воды. Вода с высоким показателем жесткости имеет неудовлетворительные органолептические свойства и непригодна для использования в промышленно-хозяйственных и бытовых целях. Помимо этого, она является одним из факторов развития заболеваний неинфекционной природы. Нормативный показатель жесткости согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 составляет 7 мг-экв/дм<sup>3</sup>, по указанию Главного государственного санитарного врача эта норма может быть увеличена для централизованных систем питьевого водоснабжения до 10 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Употребление воды с жесткостью более 10 мг-экв/дм<sup>3</sup> обычно ведет к развитию эндемического уrolитиаза [3].

В настоящее время водоснабжение города обеспечивается за счет воды как Чернореченского водохранилища, так и ряда подземных водозаборов (Орловский, Инкерманский и др.). Вследствие сверхнормативной эксплуатации некоторых подземных источников водоснабжения их вода не отвечает установленным нормативам по показателям минерализации, общей жесткости, содержанию нитратов и хлоридов. Так, жесткость воды Орловского водозабора равняется 11–15 мг-экв/дм<sup>3</sup> при минерализации (по сухому остатку) до 1630 мг/дм<sup>3</sup>.

По данным мониторинга Севприроднадзор отмечал низкое качество питьевой воды, подаваемой населению Севастополя. Вода Чернореченского водохранилища имела удовлетворительный кислородный режим и была отнесена ко 2-му классу качества – слабо загрязнённая. Согласно данным, представленным в Ежегодном докладе о состоянии окружающей среды, по результатам санитарно-химического исследования 29 % проб питьевой воды из распределительной водопроводной сети города не соответствовало СанПин 2.1.4.1074-01 [2].

Река Черная является не только источником водоснабжения Севастополя, но и единственным постоянным водотоком, разгружающим свои воды в Севастопольскую бухту. Хотя сток реки зарегулирован, ее воды оказывают весьма заметное влияние на гидролого-гидрохимический режим бухты. Так, в период паводка объем речного стока бывает сопоставим с объемом воды в самой бухте [1]. Это и определяет необходимость исследования вод реки при мониторинге Севастопольской бухты, особенно в связи с загрязнением нижнего течения р. Черной и существенным вкладом антропогенных источников в поставку биогенных элементов (азота и фосфора) в бухту [4].

Формирование водного и химического стока р. Черной определяется двумя основными средообразующими факторами – геологическими условиями и климатом. Геологические условия характеризуются преобладанием карстующихся горных пород (меловые и верхнеюрские карбонатные отложения) [5]. Территория водосбора р. Черной относится к горно-лесной зоне умеренного климата с мягкой зимой и умеренно-жарким летом. Годовая норма атмосферных осадков составляет от 500 мм (предгорье) до 1000 мм (Главная гряда Крымских гор).

Согласно классификации Б. Д. Зайкова [6], р. Черная, наряду с другими реками Крыма, принадлежит к группе рек с паводочным режимом крымского подтипа, на которых наблюдаются паводки в любой период года при выраженной летней межени. Летняя межень – маловодный летне-осенний период (с мая по октябрь) – может прерываться нерегулярными кратковременными паводками разной интенсивности, вплоть до катастрофических. В паводочный зимне-весенний период (с ноября по апрель) проходит 80–85 % стока. В летний период межени характерно пересыхание реки в среднем участке (ущелье р. Узунджа). Основным питанием реки в это время является подземный сток. Самый многоводный месяц – март, а маловодный – сентябрь. Чернореченское водохранилище находится в центре Байдарской долины. Здесь реку питают многочисленные ее притоки, бурные осенью и зимой и пересыхающие летом, из которых наиболее значительный – р. Байдарка.

Цель данной работы – анализ современных условий формирования гидрохимического режима р. Черной и оценка соответствия качества речных вод как основного источника питьевого водоснабжения г. Севастополя нормативным требованиям.

### **Материалы и методы исследования**

Работа основана на результатах мониторинга гидрохимической структуры вод р. Черной и Чернореченского водохранилища (2002–2010 гг.). При проведении исследовательских работ получены данные об изменении

гидрофизических и гидрохимических характеристик воды, экологического состояния водоемов.



Рис. 1. Схема станций отбора проб  
Fig. 1. Scheme of sampling stations

Отбор проб воды в реке и водохранилище проводился в соответствии с международными стандартами ISO 6059:1984, ISO 6058:1984 и методиками [7, 8]. Пробы отбирались в основные гидрологические фазы вдоль течения реки – от Чернореченского водохранилища до места впадения в Севастопольскую бухту (рис. 1), а также в устьях некоторых притоков. Анализ гидрохимических характеристик выполнялся согласно требованиям стандартных методик [7, 8] и нормативных документов (ISO 6059:1984, ISO 6058:1984, РД 52.24.468-2005). Содержание кислорода определяли по методу Винклера, биогенных элементов (фосфаты, азот аммонийный, нитратный и нитритный) – фотометрически, общую минерализацию – по сухому остатку [7]. Общая жесткость (оЖ) и содержание кальция анализировались комплексонометрическим методом в соответствии с международными стандартами [8] и ГОСТ Р 52407-2005. Проверка правильности анализа общей жесткости воды и содержания кальция выполнялась с использованием межгосударственных стандартных образцов МСО 0397:2002 и МСО 0399:2002.

### Результаты и обсуждение

По химическому составу вода р. Черной (таблица) относится к гидрокарбонатному классу группы кальциевых ( $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ) средней ( $0,3\text{--}0,5 \text{ г/дм}^3$ ), иногда повышенной ( $> 0,5\text{--}1,0 \text{ г/дм}^3$ ) минерализации, слабощелочному (рН 6,8–8,5) типу.

*Минерализация (ионный состав) и жесткость речной воды.* Как известно, внутригодовые колебания минерализации и компонентов главного ионного состава рек определяются водным режимом, его сезонной изменчивостью и характером питания реки. Оценки многолетних изменений максимальных годовых расходов р. Черной позволили выделить фазы водности для рек северо-западного склона Крымских гор: с 1950 по 1980 и с 1999 по 2010 гг. – маловодная; с 1981 по 1998 гг. – многоводная [9].

Ввиду того что река имеет выраженный паводочный режим, природная изменчивость химического состава зависит от сезонных факторов. При максимальной

водности, характерной для зимне-весеннего паводка, когда питание реки преимущественно дождевое, обычно наблюдаются минимальные значения минерализации. В теплый период в межень река переходит в основном на подземное питание, минерализация и содержание компонентов главного ионного состава увеличиваются.

Тесная связь гидрохимического режима с водным типа  $\Sigma_{\text{и}} = f(Q)$  позволяет рассматривать минерализацию (сумму ионов,  $\Sigma_{\text{и}}$ ) как функцию расхода ( $Q$ ) [10]. Подобная связь характерна и для отдельных компонентов ионного стока (например, жесткости). Для вод р. Черной выявлена тесная корреляция общей минерализации воды и жесткости с расходами воды в реке на протяжении последнего десятилетия (1995–2010 гг.). Однако во второй половине 1998 г. наблюдалось существенное повышение минерализации ( $> 1,0 \text{ г/дм}^3$ ) с увеличением значения стока, характерным для многоводного периода 1980–1990 гг. [11], что обусловлено значительным антропогенным влиянием [12].

На рис. 2 представлены сезонные многолетние изменения водности и гидрохимического режима р. Черной за период наблюдений 1990–2010 гг. Анализ особенностей внутригодового изменения расходов, минерализации и жесткости указывает на сложный механизм формирования химического состава воды р. Черной. Максимальные значения жесткости и концентрации главного ионного состава и кальция отмечаются при росте расходов в паводочный период (рис. 2, а, б). В маловодный период при уменьшении стока и нормы осадков распределение жесткости и содержания кальция в паводочный период в общих чертах изменяется прямо пропорционально расходу воды: во время увеличения расхода увеличивается величина оЖ в воде (рис. 2, б).

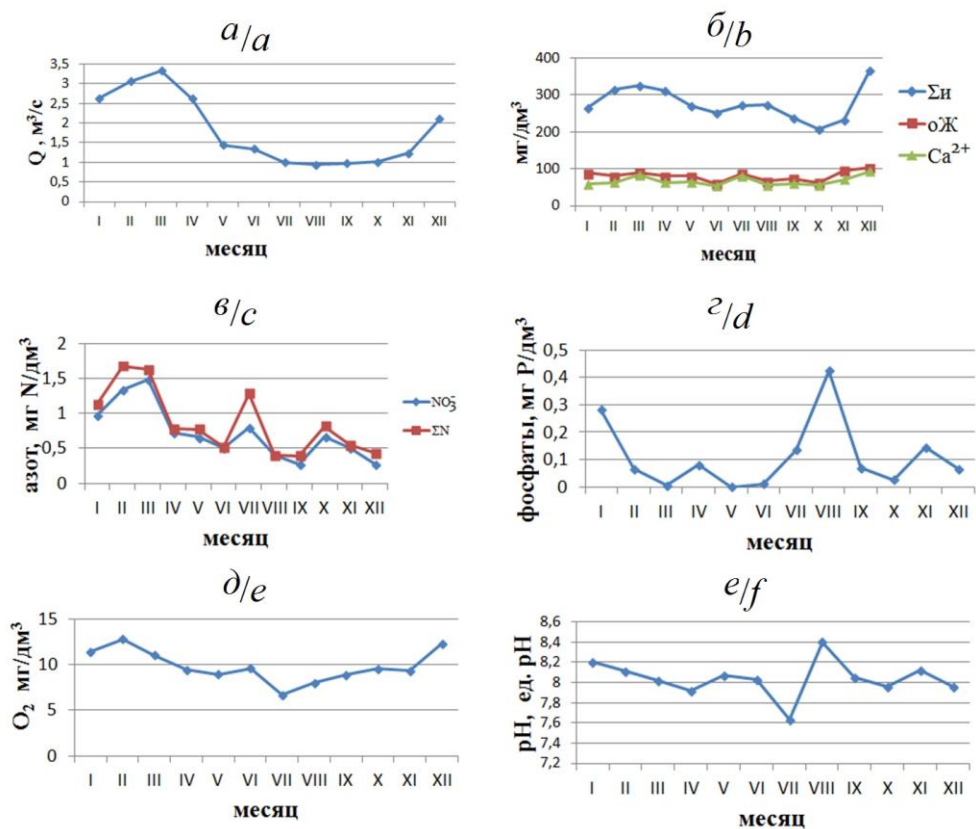
На наш взгляд, такой механизм формирования химического состава воды в период наблюдений определяется как характером водного режима, так и антропогенным влиянием. Как было показано выше, период наблюдений относится к маловодной фазе водности реки. При низкой норме водности – в период отсутствия атмосферных осадков – в почвах и горных породах водосбора возможно накопление подвижных форм химических элементов ионного состава, выщелачивание которых из подстилающих пород протекает более интенсивно при паводке.

*Растворенные газы и биогенные элементы.* Содержание растворенных газов (кислород) и биогенных элементов (соединения азота, фосфаты) проявляет зависимость от расхода, однако в распределении этих характеристик ключевую роль играют биогеохимические процессы (дыхание гидробионтов, деструкция органического вещества) и антропогенное влияние (смыв с сельскохозяйственных угодий и пр.)

Кислород в речной воде находится на удовлетворительном уровне: среднее содержание колеблется от 7,7 до 15,8 мг/дм<sup>3</sup>. Сезонная изменчивость кислорода зависит от характера питания реки и биогеохимических процессов.

Во время осенне-зимнего паводка при дождевом питании реки, низкой температуре и активном перемешивании воды содержание кислорода максимально (5,4–13,6 мг/дм<sup>3</sup>). В межень, когда уровень концентрации кислорода в основном определяется процессами фотосинтеза, затратами на дыхание гидробионтов и окисление органического вещества, его содержание составляет от 6,0 мг/дм<sup>3</sup> до 10,4 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 2, в). В период наших наблюдений

насыщение кислородом было 88–118 % в р. Черной и 75–109 % в левом при-  
токе – р. Байдарке. Наблюдаемый дефицит кислорода относится к летнему  
периоду. Минимальные значения рН более характерны для паводочного пе-  
риода (рис. 2, *e*), когда преимущественным источником питания реки служат  
атмосферные выпадения.



**Рис. 2.** Внутригодовые изменения расходов воды (*a*), минерализации, жесткости и содержания кальция (*b*), нитратного и суммарного минерального азота (*c*), фосфатов (*d*) и кислорода (*d*), рН (*e*) в воде р. Черной (г/п Хмельницкое, 1990–2010 гг.)

**Fig. 2.** Intra-annual variations of water discharge (*a*), mineralization, hardness and calcium content (*b*), nitrate and total mineral nitrogen (*c*), phosphates (*d*) and oxygen (*e*), pH (*f*) in the Chernaya River water (h/p Khmel'nitskoye, 1990–2010)

В содержании биогенных элементов в течение года наблюдались законо-  
мерные изменения, обусловленные активностью процессов их потребления  
растениями и минерализации органического вещества, а также их поступле-  
нием с поверхностным стоком с площади водосборного бассейна и сбросом  
сточных вод. Преобладающая форма неорганического азота для исследуемых  
рек – нитратная. Минимальные концентрации нитратного азота приходятся  
на вегетационный период (апрель – июнь), а максимальные концентрации  
нитратов, суммы минеральных соединений азота  $\Sigma N$  ( $NO_3^- + NO_3^- + NH_4^+$ )  
и фосфатов характерны для осенне-зимних паводков, когда поверхностно-

стоковый смыв максимален, а также в меженный период при окислении автохтонных органических веществ и относительном увеличении доли сточных вод за счет уменьшения естественного стока (рис. 2, в, з). В 1990–2010 гг. концентрация нитратов в течение года изменялась от 0–1,30 мг N/дм<sup>3</sup> (в межень) до 0,02–2,58 (в паводок). Содержание нитритов в течение года не превышало 0,037 мг N/дм<sup>3</sup>. Максимальное содержание аммонийного азота наблюдалось в период летне-осенней межени при среднем значении 0,184 мг N/дм<sup>3</sup>, что в два раза превышает значения, характерные для паводка. Годовые изменения концентрации фосфатного фосфора составляли 0,002–0,612 мг P/дм<sup>3</sup> с максимальными значениями в период половодья (рис. 2, з). Несмотря на то что уровень содержания биогенных элементов в речном потоке не превышал установленных нормативов ПДК (СанПиН 2.1.4.1074-01, ГН 2.1.5.1315-03), сравнение полученных результатов (таблица) с историческими данными (съёмка 1939 г.), когда соединения азота в реках Черной и Байдарке или не обнаруживались (нитриты) или их содержание было весьма низким (нитраты) – 0,07 мг NO<sub>3</sub>/дм<sup>3</sup> [13], свидетельствует об увеличении антропогенного вклада и загрязнении реки.

Увеличение жесткости, содержания кальция и минерализации наблюдается и в меженный период, когда основным источником питания реки становится подземный сток (рис. 2, б). Хотя гидрокарбонатно-кальциевые подземные воды в местах разгрузки в Байдарской котловине имеют невысокую минерализацию (200–500 мг/дм<sup>3</sup>) [5], по нашим наблюдениям, в летний период концентрации Ca<sup>2+</sup> и оЖ в воде р. Узунджа заметно превышают таковые в р. Черной и в поверхностных водах Чернореченского водохранилища. Так, в июне 2009 г. в устье р. Узунджа жесткость достигала 5,52 мг-экв/дм<sup>3</sup> при электропроводимости 541 мкСм/см, тогда как на поверхности водохранилища эти параметры составляли 3,24 мг-экв/дм<sup>3</sup> и 329 мкСм/см соответственно.

Ранее было показано, что химический состав вод в нижнем течении реки существенно трансформирован и фактическая поставка биогенных элементов с водами нижнего течения реки значительно (в 1,5–2 раза) превышает вынос [4]. К сожалению, загрязнение вод р. Черной происходит не только в нижнем течении, но и выше водозабора для питьевого водоснабжения. Это заметно при рассмотрении изменчивости концентраций минеральных веществ по длине реки (рис. 1, 3). Установлено, что жесткость, концентрации кальция и минерального азота в водах р. Байдарки вследствие загрязнения заметно выше, чем в р. Черной (рис. 1; 3, а). Повышенные концентрации нитратов и ΣN отмечаются и в среднем течении реки (рис. 1; 3, б). При этом следует отметить, что нормативные показатели (ПДК) по этим параметрам в период наблюдений не были превышены.

Выделяют несколько видов загрязнения, которые влияют на качество речной и питьевой воды. Наиболее существенными из них являются:

- загрязнение водосборной площади реки и ее притоков,
- высокая мутность воды при паводках,
- загрязнение воды Чернореченского водохранилища.

Основной источник загрязнения – антропогенный. Даже в водоохраных зонах регистрируются выходы коммунальных стоков и загрязнение бытовым мусором.



Гидрохимические характеристики рек Черной (г/л Хмельницкое) и Байдарки (с. Озерное)

Показатели	Единицы измерения	Черная				Байдарка	
		1993 <sup>1</sup>	1999–2002 <sup>2</sup>	1995–2006 <sup>3</sup>	2006–2010 <sup>4</sup>	1993	2006–2010 <sup>4</sup>
Минерализация (по сухому остатку)	мг/дм <sup>3</sup>	320–1110	169–485	314–1143	350–431	443	440–556
Кальций, Ca <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	44,1–62,1	18–105,6	30–147	49,7–90,2	85	78,9–106,6
Магний, Mg <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	9,7–68,3	1,2–56,4	6,0–41,0	2,4–9,2	8,8	4,4–11,4
Общая жесткость, оЖ	мг-экв/дм <sup>3</sup>	–	2,5–7,3	2,9–10,7	2,3–5,1	4,96	3,9–6,0
Щелочность, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /дм <sup>3</sup>	176–201	–	174–311	157–228	248	264–336
Водородный показатель, рН	ед. рН	7,8–8,0	7,0–8,4	7,8–8,0	8,0–8,5	8,5	8,01–8,47
Взвешенное вещество	мг/дм <sup>3</sup>	–	3,3–254,8	7,0–27,0	0,9–15,4	36,2	0,33–23,85
Кислород, O <sub>2</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	7,71–9,48	4,0–13,2	8,1–12,4	8,4–14,2	12,2	7,44–15,88
Кислород, насыщение	%	82–91	68–100	–	88–119	126	75–108
БПК <sub>5</sub>	мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1,11–2,37	0,2–4,7	1,5–2,6	–	0,3	–
Аммоний, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг N/дм <sup>3</sup>	0,00–0,12	0,00–1,63	0,00–0,04	0,00–0,07	0,52	0,00–0,13
Нитриты NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг N/дм <sup>3</sup>	0,00–0,113	0,00–0,04	0,00–0,06	0,000–0,013	0,027	0,001–0,014
Нитраты, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг N/дм <sup>3</sup>	0,00–0,39	0,00–2,58	0,00–1,87	0,13–1,54	0,75	0,15–1,17
Сумма соединений азота, ΣN	мг N/дм <sup>3</sup>	0,00–0,21	0,00–4,25	0,00–2,07	0,13–1,62	0,43	0,15–1,32
Фосфаты, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	мг P/дм <sup>3</sup>	0,00	0,004–0,620	0,003–0,400	0,000–0,230	0,060	0,006–0,220
Фосфор общий, P <sub>общ</sub>	мг P/дм <sup>3</sup>	0,00	–	0,02–0,83	0,003–0,610	0,128	0,018–0,570

<sup>1</sup> – согласно работе [6];<sup>2</sup> – данные Управления экобезопасности, г. Севастополь (1999 – 2002 гг.);<sup>3</sup> – данные КрымУГМС, 1995 – 2006 [11];<sup>4</sup> – ФГБУН МГИ РАН, данные 2006 – 2010 гг.



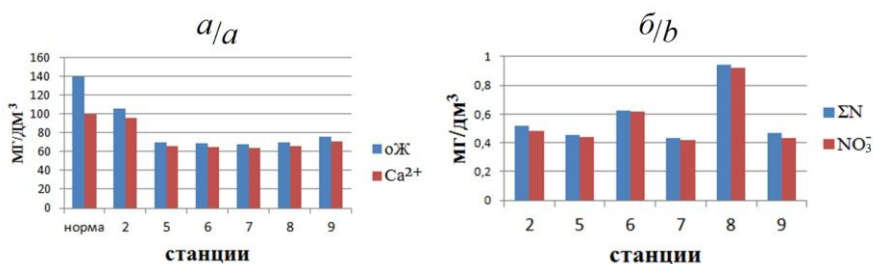
Table

## Hydrochemical characteristics of the Chernaya River (h/p Khmelntskoye) and the Baidarka River (Ozernoye)

Parameters	Measurement units	The Chernaya River			The Baidarka River		
		1993 <sup>1</sup>	1999–2002 <sup>2</sup>	1995–2006 <sup>3</sup>	2006–2010 <sup>4</sup>	1993	2006–2010 <sup>4</sup>
Mineralization (on the solid residual)	mg/dm <sup>3</sup>	320–1110	169–485	314–1143	350–431	443	440–556
Calcium, Ca <sup>2+</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	44,1–62,1	18–105,6	30–147	49,7–90,2	85	78,9–106,6
Magnesium, Mg <sup>2+</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	9,7–68,3	1,2–56,4	6,0–41,0	2,4–9,2	8,8	4,4–11,4
Total hardness	mg-equiv/dm <sup>3</sup>	–	2,5–7,3	2,9–10,7	2,3–5,1	4,96	3,9–6,0
Alkalinity, HCO <sub>3</sub>	mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /dm <sup>3</sup>	176–201	–	174–311	157–228	248	264–336
Hydrogen index, pH	pH units	7,8–8,0	7,0–8,4	7,8–8,0	8,0–8,5	8,5	8,01–8,47
Suspended matter	mg/dm <sup>3</sup>	–	3,3–254,8	7,0–27,0	0,9–15,4	36,2	0,33–23,85
Oxygen, O <sub>2</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	7,71–9,48	4,0–13,2	8,1–12,4	8,4–14,2	12,2	7,44–15,88
Oxygen, saturation	%	82–91	68–100	–	88–119	126	75–108
BOI <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	1,11–2,37	0,2–4,7	1,5–2,6	–	0,3	–
Ammonium, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg N/dm <sup>3</sup>	0,00–0,12	0,00–1,63	0,00–0,04	0,00–0,07	0,52	0,00–0,13
Nitrites NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg N/dm <sup>3</sup>	0,00–0,113	0,00–0,04	0,00–0,06	0,000–0,013	0,027	0,001–0,014
Nitrates, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg N/dm <sup>3</sup>	0,00–0,39	0,00–2,58	0,00–1,87	0,13–1,54	0,75	0,15–1,17
The sum of nitrogen compounds, ΣN	mg N/dm <sup>3</sup>	0,00–0,21	0,00–4,25	0,00–2,07	0,13–1,62	0,43	0,15–1,32
Phosphates, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg P/dm <sup>3</sup>	0,00	0,004–0,620	0,003–0,400	0,000–0,230	0,060	0,006–0,220
Total phosphorus, P <sub>tot</sub>	mg P/dm <sup>3</sup>	0,00	–	0,02–0,83	0,003–0,610	0,128	0,018–0,570

<sup>1</sup> according to [6];<sup>2</sup> данные the data of Ecosystem Safety Department, Sevastopol (1999–2002);<sup>3</sup> the data of the Crimean Administration for the Hydrometeorological Service, 1995–2006 [11];<sup>4</sup> FSBSI MHI of RAS, the data from 2006–2010

На площади водосбора р. Черной существует около трех десятков прудов, используемых не только как регуляторы водного стока и водопотребления, но и как пруды-накопители сточных вод. Ниже Чернореченского водохранилища пруды имеются на реках-притоках Байдарке, Уркусте, Уппе, Ай-Тодорке [14].



**Рис. 3.** Изменчивость гидрохимических параметров воды р. Черной по длине реки, 2006–2010 гг. (ст. 2 – р. Байдарка): *a* – жесткости (оЖ) и содержания кальция; *б* – содержания нитратов (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) и суммарного минерального азота (ΣN)

**Fig. 3.** Variability of the hydrochemical parameters of the Chernaya River waters along it 2006–2010. (st. 2 – the Baydarka River): *a* – hardness and calcium content; *b* – content of nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) and total mineral nitrogen (ΣN)

В условиях невыполнения, а подчас грубых нарушений требований основных нормативных документов, определяющих порядок водопользования, как введенных ранее (СанПиН 2610-82), так и действующих в настоящее время (СанПиН 2.1.4.1110-02), происходит загрязнение и Чернореченского водохранилища.

Основные нарушения:

- не утверждены зоны санитарной охраны в соответствии с законодательством о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения (ч. 2 ст. 43 Водного кодекса РФ и СанПиН 2.1.4.1110-02); лишь с 2015 г. в рамках реализации экологической программы г. Севастополя были начаты работы по имплементации зон санохраны водных объектов [15];

- ведется хозяйственная деятельность в границах зон санитарной охраны;
- с момента ввода водохранилища в эксплуатацию и до настоящего времени не канализованы населенные пункты Широкое, Новобобровка, Родниковское и другие, входящие во второй пояс зоны санитарной охраны, что приводит к поступлению загрязняющих веществ по рекам-притокам с поверхностно-склоновым стоком, а также к загрязнению подземных водоносных горизонтов;

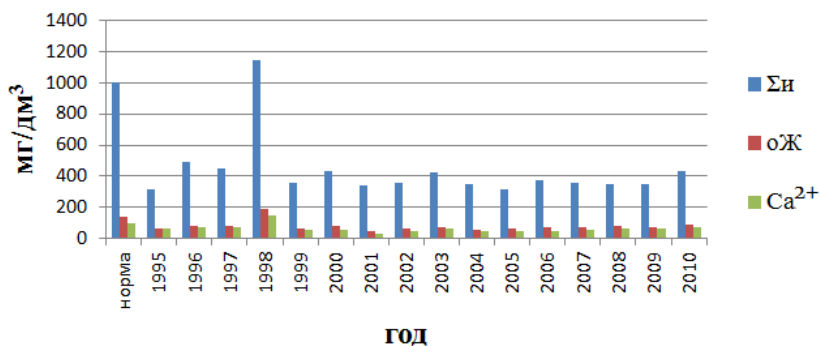
- более двух десятков лет очистные сооружения с. Орлиного не работали, а вопрос о строительстве двух напорных канализационных коллекторов для перекачки неочищенных сточных вод с. Орлиного на очистные сооружения с. Озерного не решался. Сточные воды сел Орлиного и Тылового поступали в р. Байдарку и пруды-накопители, а затем загрязняли р. Черную в результате их сброса, инфильтрации и смыва при интенсивных атмосферных осадках. В конечном итоге это привело к чрезвычайной ситуации: в ноябре 2006 г. в результате прорыва дамбы вода из пруда-накопителя на р. Байдарке у с. Озерного, где было аккумулировано 220 тыс. м<sup>3</sup> сточных вод, поступила в р. Черную. Более 70 % населения Севастополя на протяжении недели оставалось без водоснабжения, которое было прекращено из-за непригодности воды для употребления по санитарно-химическим показателям [16, 17]. В настоящее время эффективность очистных сооружений с. Озерного также недостаточна.

По данным наблюдений 2006–2010 гг., средняя концентрация аммонийного азота в р. Байдарке, воды которой поступает в р. Черную ниже водозаборного устройства водохранилища, более чем в два раза превышает значения, характерные для вод р. Черной. Это свидетельствует о постоянном свежем загрязнении, так как аммонийный азот – прежде всего, продукт деструкции органических веществ сточных вод. О постоянном загрязнении вод р. Черной и Чернореченского водохранилища биогенными элементами и органическими веществами свидетельствуют и представленные Севприроднадзором в Ежегодном отчете за 2015 г. данные по биохимическому потреблению кислорода (БПК<sub>5</sub>), фенолу и бихроматной окисляемости, значения которых превышают нормативные показатели [2].

Исследование водной толщи Чернореченского водохранилища в летний период (июнь 2002 и 2006 гг.) показало неоднородность гидрохимической структуры. Если в поверхностном 7-метровом слое содержание соответствует нормативным показателям (кислород 8,6–10 мг/дм<sup>3</sup>, насыщение 106–116 %), то в придонном слое глубоководной части (25–30 м) наблюдается значительное снижение концентрации кислорода (4,2–5,7 мг/дм<sup>3</sup> при насыщении 40–75 %). Основная причина – затраты кислорода на окисление аллохтонных и автохтонных органических веществ в период летней стагнации, когда аэрация водных слоев затруднена, а питание водохранилища происходит за счет преимущественно подземных вод с минимальным содержанием кислорода. Содержание здесь биогенных веществ не превышает норм, но примерно в 10 раз выше, чем в поверхностном слое вод [18]. Заметно выше в придонном слое жесткость – 3,76–3,84 мг-экв/дм<sup>3</sup> (при среднем значении в поверхностном слое 3,06 мг-экв/дм<sup>3</sup>) и концентрация кальция, что также обусловлено подземным питанием.

Еще один из факторов, оказывающих влияние на качество питьевой воды, – высокая мутность воды (концентрация взвеси) в период паводков (до 250 мг/дм<sup>3</sup>, см. таблицу), которая создает определенные трудности при водоподготовке и ведет к превышению нормативных показателей по мутности.

Из анализа данных межгодовой изменчивости минерализации ( $\Sigma_{и}$ ), жесткости (оЖ) и кальция для гидропункта Хмельницкое (рис. 4) следует, что межгодовые колебания рассматриваемых параметров обычно не превышают установленных нормативных значений, за исключением экстремальных результатов, полученных в 1998 г.



**Рис. 4.** Река Черная: межгодовая изменчивость минерализации, жесткости и содержания кальция (г/л Хмельницкое, 1995–2010 гг.)

**Fig. 4.** The Chernaya River: interannual variation of mineralization, hardness and calcium content (h/p Khmelnitskoye, 1995–2010).

В то же время существует тенденция к повышению минерализации речных вод Крыма, в том числе и р. Черной, как следствие антропогенного воздействия [6].

### Заключение

Таким образом, из-за отсутствия системы канализирования населенных пунктов в водоохранной зоне, при поверхностно-склоновым стоке и инфильтрации сточных вод прудов-накопителей происходит загрязнение вод р. Черной и подземных водоносных горизонтов. В результате качество воды, поступающей для подготовки на гидроузел № 3, настолько низкое, что не всегда возможно выполнить ее нормативную очистку, так как очистительные способности гидроузла не рассчитаны на такой уровень загрязнения.

Отметим, что решение вопроса о снабжении качественной питьевой водой г. Севастополя не может быть признано удовлетворительным. При современном состоянии водоохраных мероприятий на водосборной площади р. Черной и в зоне санитарной охраны Чернореченского водохранилища, а также при отсутствии в настоящее время альтернативного поверхностного источника водоснабжения город не застрахован от экстремальных ситуаций, подобных тем, которые возникали в 1998 и 2006 гг. Проблема защиты водосборных площадей и речных вод от загрязнения хозяйственно-бытовыми стоками требует безотлагательного рассмотрения. Потребность в качественной питьевой воде будет возрастать с ростом населения, с развитием туристической области и промышленности. При росте потребности в питьевой воде попытка увеличения доли подземных вод, качество которых зачастую не отвечает нормативным требованиям, в общем объеме водоподачи не компенсирует дефицит воды, пригодной к употреблению. При существующей тенденции к увеличению минерализации вод и росту загрязнений необходимо внедрение системных экологических мероприятий, направленных на решение обозначенных проблем.

Анализ компонентов карбонатной системы вод р. Черной выполнен в рамках проекта РФФИ 16-35-60006 мол\_а\_дк «Многолетние изменения характеристик цикла углерода Севастопольской бухты». Остальная часть исследования проведена в соответствии с программой государственного задания по теме 0827-2014-0010 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей, на основе современных методов контроля состояния морской среды и гридтехнологий» (шифр «Фундаментальная океанология»).

Авторы статьи выражают благодарность сотрудникам отдела биогеохимии моря и лично с. н. с. С. И. Кондратьеву за помощь в получении натуральных данных при отборе проб и выполнении химического анализа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние океанографических факторов на экологическое состояние Севастопольской бухты (Черное море) / Л. Н. Репетин [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2003. № 2. С. 66–80.
2. Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города федерального значения Севастополя за 2015 год: [электронный ресурс]. Севастополь : Севприроднад-

- зор, 2016. 147 с. URL: [https://sevastopol.gov.ru/files/iblock/d03/ecogodosklad\\_sev\\_2015.pdf](https://sevastopol.gov.ru/files/iblock/d03/ecogodosklad_sev_2015.pdf) (дата обращения: 04.09.2017).
3. Общая гигиена и экология человека / Ю. Ю. Елисеев [и др.]. М.: ЭКСМО, 2007. 402 с.
  4. Сток реки Черной как фактор формирования водно-солевого режима и экологического состояния Севастопольской бухты / Е. И. Овсяный [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ НАНУ, 2007. Вып. 15. С. 57–65.
  5. Моделирование ресурсов подземных вод юго-западной части Горного Крыма / В. М. Шестопалов [и др.] // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2008. № 4. С. 5–28.
  6. *Тимченко З. В.* Водные ресурсы и экологическое состояние малых рек Крыма. Симферополь : ДОЛЯ, 2002. 152 с.
  7. Государственный контроль качества воды. М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. 776 с.
  8. *Фомин Г. С.* Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам: энциклопедический справочник. М. : Протектор, 2000. 839 с.
  9. *Овчарук В. А., Тодорова Е. И.* Статистические параметры максимальных расходов воды и слоев паводочного стока для рек Горного Крыма // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10, вып. 1. С. 766–770.
  10. *Алекин О. А.* Основы гидрохимии. Л. : Гидрометеиздат, 1970. 442 с.
  11. Гідрохімічний довідник: Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу / В. І. Осадчий [та ін.]. К. : Ніка-Центр, 2008. 656 с.
  12. *Осадчий В. І.* Основні тенденції формування хімічного складу поверхневих вод України у 1995–1999 рр. // Наукові праці УкрНДГМІ. Київ, 2000. Вип. 248. С. 138–153.
  13. *Алекин О. А.* Гидрохимия рек СССР. Ч. 2. Л. : Гидрометеиздат, 1948. С. 144–148. (Труды ГГИ. Вып. 10 (64)).
  14. Поверхностные водные объекты Крыма / А. А. Лисовский [и др.]. Симферополь : Рескомводхоз АРК, 2004. 114 с.
  15. Государственная программа города Севастополя «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов города федерального значения Севастополя на 2015–2017 годы»: [электронный ресурс]. URL: <http://crimea.regnews.org/doc/bq/ne.htm> (дата обращения: 01.09.2017).
  16. Пруд-отстойник «отключил» Севастополь от воды: [электронный ресурс]. URL: <http://www.totalua.com/2006-11-10/print20617.html> (дата обращения: 01.09.2017).
  17. Случайность, безалаберность или злая воля? [электронный ресурс] // Слава Севастополя. 2006. 10 ноября. URL: <https://slavasev.ru/2006/11/10/sluchaynost-bezalabernost-ili-zlaya-volya/> (дата обращения: 01.09.2017).
  18. Гидролого-гидрохимические особенности вод Чернореченского водохранилища в летний период / В. М. Артеменко [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ НАНУ, 2003. Вып. 9. С. 67–75.

*Информация об авторах:*

**Овсяный Евгений Иванович** – научный сотрудник отдела биогеохимии моря ФГБУН МГИ (Севастополь, Россия), ORCID: 0000-0002-6093-5102 EugeneOvsyanyu@yandex.ru.

**Орехова Наталья Александровна** – зав. отделом биогеохимии моря ФГБУН МГИ (Севастополь, Россия), кандидат географических наук, ORCID: 0000-0002-1387-970X; ResearcherID: I-1755-2017; natalia.orekhova@mhi-ras.ru.