

Научная статья

УДК 581.526.325:(262.5)

EDN: DUWPWE

Гидрохимические характеристики акватории Новороссийского порта (Черное море) в 2011 году

Г. Г. Матишов, О. В. Степаньян[✉], М. А. Анциферова,
Е. Г. Алёшина, **В. Г. Сойер**

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук,
Ростов-на-Дону, Россия
[✉] step@ssc-ras.ru

Поступила в редакцию 02.06.2025; одобрена после рецензирования 27.06.2025;
принята к публикации 10.09.2025.

Аннотация

Цель. Исследованы гидролого-гидрохимические характеристики морских вод и водных отложений в акватории Новороссийского порта, Черное море (акватория ОАО «НМТП»), и за его пределами в течение теплого сезона 2011 г. в условиях антропогенной нагрузки.

Методы и результаты. Использовались стандартные гидрологические и гидрохимические методы исследования морских вод. Некоторые параметры на отдельных станциях в период работ превышали нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) в воде объектов рыбохозяйственного значения, средние значения гидрохимических параметров по всей акватории порта оставались в пределах установленных нормативов. Только на ст. 13 выявлены существенные отличия от остальных станций по показателям pH, содержанию органического углерода, кислорода, метана, биогенных элементов, что связано с влиянием стока р. Цемес и канализационных сбросов. Превышение ПДК в воде отмечено для метана (июль), синтетических поверхностно-активных веществ (июль, сентябрь), нефтепродуктов (все сезоны), тяжелых металлов: железа, ртути (весь период наблюдений); марганца, свинца, цинка (июнь, июль), меди (июнь, сентябрь). При этом на отдельных станциях (ст. 14 и 1) отмечалось превышение ПДК в воде для нефтепродуктов и некоторых тяжелых металлов, тогда как на соседних станциях уровни загрязнения были в несколько раз ниже, что свидетельствует о сложном гидрологическом режиме в акватории порта и, возможно, точечном поступлении поллютантов (в первую очередь канализационного стока). Загрязнение донных отложений нефтепродуктами (ст. 13, 17) и тяжелыми металлами (железа на ст. 20 и ст. 21, марганца на ст. 12 и ст. 13, меди на ст. 4) было относительно высоким.

Выходы. Распределение гидрохимических показателей в акватории Новороссийского порта неоднородно, что обусловлено сложным сочетанием гидродинамических процессов, ограниченного водообмена, влияния поверхностного пресного стока, функционирования биотической компоненты. Основной вклад в загрязнение вносят точечные источники, связанные с речным и канализационным стоком. Хотя усредненные по акватории показатели не превышали нормативов, локальные очаги загрязнения, особенно вблизи источников сброса, требуют постоянного мониторинга.

Ключевые слова: гидрохимия, загрязнение, Новороссийская бухта, Новороссийский порт, Черное море, тяжелые металлы, нефтепродукты, донные отложения

Благодарности: исследование выполнено в рамках госзадания ЮНЦ РАН «Южные моря России и их водосборы в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов» (госрегистрация 125012100503-4).

Для цитирования: Гидрохимические характеристики акватории Новороссийского порта (Черное море) в 2011 году / Г. Г. Матишов [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2025. Т. 41, № 6. С. 807–822. EDN DUWPWE.

Original article

Hydrochemical Characteristics of the Novorossiysk Port Waters (Black Sea) in 2011

G. G. Matishov, O. V. Stepanyan , M. A. Antsiferova, E. G. Alyoshina,
V. G. Sawyer

*Federal Research Center Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
Rostov-on-Don, Russia
 step@ssc-ras.ru*

Abstract

Purpose. The work is aimed at studying the hydrological and hydrochemical characteristics of marine waters and sediments in the water area of the Novorossiysk port (JSC “NCSP” water area) and beyond (the Black Sea) under anthropogenic load during the warm season in 2011.

Methods and Results. Standard hydrological and hydrochemical methods were applied to study marine waters. During the study period, some parameters measured at the individual stations, exceeded the standards of maximum permissible concentrations (MPC) in seawater in the regions of fisheries complexes, while the average values of hydrochemical parameters throughout the port area remained within the established standards. Only at station 13, the significantly differing indicators (as compared to those at other stations) in pH, organic carbon, oxygen, methane, and nutrient content were revealed, that is related to the influence of river Tsemes runoff and sewage discharges. The maximum permissible concentrations in seawater were exceeded for methane (July), synthetic surfactants (July, September), oil products (all seasons), and heavy metals: iron and mercury (the whole observation period); as well as for manganese, lead, zinc (June, July) and copper (June, September). At the same time, the measurements at some stations (14 and 1) demonstrated the MPC excess in seawater for oil products and some heavy metals, whereas at the neighboring stations the pollution indicators were several times lower, which testifies to a complex hydrological regime in the port area and, possibly, a point inflow of pollutants (primarily sewage discharge). Pollution of bottom sediments with oil products (stations 13 and 17) and heavy metals (iron – at stations 20 and 21, manganese – at stations 12 and 13, and copper – at station 4) was relatively high.

Conclusions. The distribution of hydrochemical parameters in the Novorossiysk port water area is heterogeneous, and it is conditioned by a complex combination of hydrodynamic processes, limited water exchange, the influence of surface fresh runoff, and the biotic component functioning. The main contribution to pollution is made by the point sources related to river and sewage runoffs. Although the pollution indicators averaged over the port water area do not exceed the standards, the local pollution foci, especially near the discharge sources, require constant monitoring.

Keywords: hydrochemistry, pollution, Novorossiysk Bay, Novorossiysk port, Black Sea, heavy metals, oil products, bottom sediments

Acknowledgements: The study was carried out within the framework of state assignment of SSC RAS “Southern seas of Russia and their watersheds in the context of global climatic and industrial challenges” (state registration 125012100503-4).

For citation: Matishov, G.G., Stepanyan, O.V., Antsiferova, M.A., Alyoshina, E.G. and Sawyer, V.G., 2025. Hydrochemical Characteristics of the Novorossiysk Port Waters (Black Sea) in 2011. *Physical Oceanography*, 32(6), pp. 826-840.

Введение

Оценка антропогенного влияния на состояние морских экосистем – актуальная научная задача последних десятилетий. Особый интерес представляют крупные порты и приморские города, являющиеся «входными воротами» и серьезными источниками загрязнения для остальной морской акватории. Незамерзающий глубоководный Новороссийский порт – крупнейший транспортный узел России (пятый в Европе) и один из самых больших в Черном море. Порт расположен в крупном промышленном городе Новороссийске с населением более 260 тыс. жителей, в летний туристический период население города может увеличиваться в два раза и более. Через Новороссийский порт ежегодно переваливается более 110 млн т грузов, среди которых превалируют нефть и нефтепродукты, металлы, зерно, удобрения. Ежегодно в порт заходит свыше 5,5 тыс. судов. Урбанизация и промышленное освоение прибрежной зоны Новороссийской бухты неизбежно приводят к загрязнению морских вод органическими и неорганическими веществами, нефтепродуктами, тяжелыми металлами. На портовую акваторию приходится 65 % поверхностных и сточных вод, поступающих с территории города и промышленной городской зоны.

В соответствии с рельефом дна, а также гидрологическими и гидробиологическими характеристиками, Новороссийская бухта делится на три основных сектора: портовую зону, среднюю часть и открытую акваторию. Порт площадью ~ 3 км² расположен в верхней части бухты, он характеризуется мелководьем (глубины 7–10 м), низкой прозрачностью воды (до 5 м) и ограниченным водообменом. Такие особенности водообмена обусловлены портовыми сооружениями, в первую очередь восточным и западным молом, которые препятствуют свободному обмену воды с открытой частью бухты.

Исследования, проведенные Южным научным центром (ЮНЦ) РАН в 2011 г., до масштабной реконструкции и модернизации как самого порта, так и прилегающих территорий, сохраняют свою актуальность и значимость, поскольку имеющиеся сведения по этим участкам немногочисленны и отрывочны, а также не охватывают данный период [1–3]. Результаты этих исследований используются для оценки изменений состояния морской среды Новороссийской бухты, произошедших в связи с антропогенной трансформацией в последующие после съемки годы. При изучении научной литературы по объекту исследования было выявлено отсутствие более поздних данных о Новороссийской бухте. Это свидетельствует о том, что исследования, результаты которых приведены в этой статье, – последние обширные работы в акватории бухты.

Целью работы являлось исследование гидролого-гидрохимических характеристик морских вод и донных отложений в условиях антропогенной нагрузки в собственно акватории Новороссийского порта (акватории ОАО «НМТП») и за его пределами в течение двух теплых сезонов (весна, лето) 2011 г. В задачи входила оценка экологического состояния морских вод и донных отложений акватории.

Материалы и методы

Район работ – акватория ОАО «Новороссийский морской торговый порт». Пробы отбирались на 21 станции (рис. 1) в течение двух гидрологических сезонов (поздняя весна, лето) 2011 г.

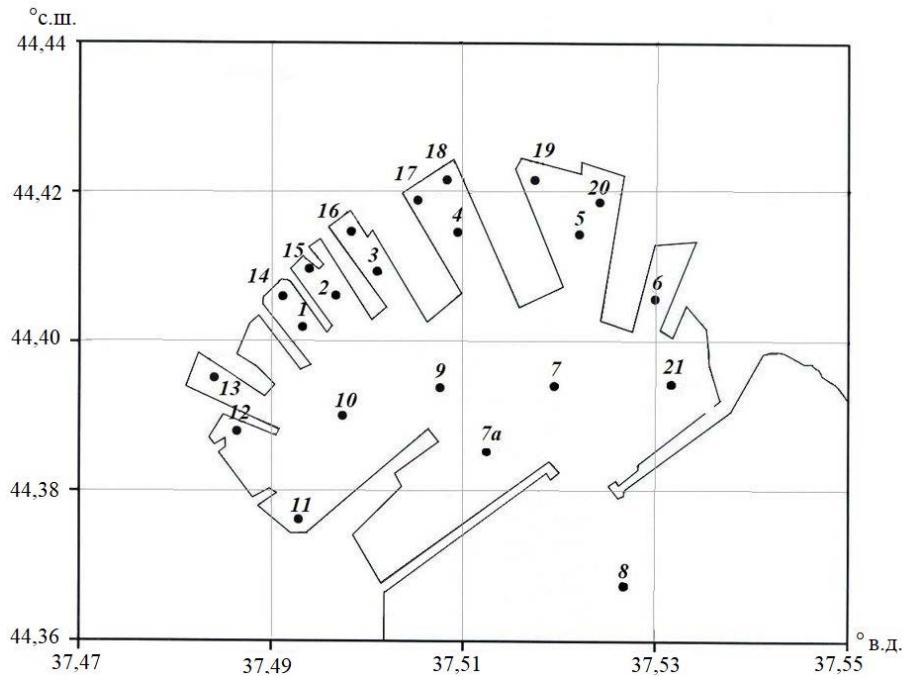


Рис. 1. Станции на акватории Новороссийского порта
Fig. 1. Stations in the Novorossiysk port water area

Координаты на местности определяли с помощью *GPS*-навигатора (точность 1 м). Параметры гидрологического цикла измеряли в соответствии с «Руководством по гидрологическим работам в океанах и морях»¹, соленость – по электропроводности с помощью зонда *SBE 90*, температура воздуха – аспирационным психрометром. Отбор проб воды и донных отложений проводили в соответствии с общепринятыми методиками¹. Всего отобрано 63 пробы воды и 48 проб донных отложений. Количественные характеристики состояния и качества вод получали непосредственно на борту экспедиционного судна (температура, pH, прозрачность вод) и в береговой лаборатории с отбором проб в специальные емкости и фиксированием неустойчивых компонентов. Исследования выполняли в Междисциплинарной аналитической лаборатории ЮНЦ РАН, аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.516088).

Растворенный кислород определяли йодометрическим методом Винклера в соответствии со стандартным руководством, pH – портативным pH-метром *HI 98128*. Пробы на биохимическое потребление кислорода (БПК₅) инкубировали в течение 5 сут в светонепроницаемом ящике при температуре 20 °C. Щелочность измерялась методом прямого титрования². Пробы на взвешенное вещество объемом 5 л фильтровались через стекломикроволоконные фильтры

¹ Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1977. 725 с.

² Руководство по химическому анализу морских вод : РД 52.10.243. Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 1993. 264 с.

MGF и после высушивания взвешивались для определения концентрации взвешенного вещества³.

Минеральный фосфор анализировался по общепринятой методике с фотометрированием на длине волны 880 нм; общий фосфор – путем кислотного гидролиза соединений фосфора в присутствии надсернокислого калия при кипячении; кремний (силикаты) – по образованию голубого кремниевомолибденового комплекса с последующим фотометрированием² на длине волны 810 нм.

Анализ минеральных форм азота и общего азота проводился фотометрированием растворов на длине волны $\lambda = 525$ нм после образования комплексов, имеющих окраску. Содержание нитритов, нитратов и общего азота определяли по продукту реакции с реагентом Грисса. При этом нитрат-ион восстанавливали до нитрит-иона в кадмиевой редукционной колонке, а общий азот – после кислотного гидролиза при нагревании и последующего восстановления до нитрит-иона. Содержание ионов аммония устанавливали фотометрированием фенол-гипохлоритного комплекса² на длине волны 626 нм.

Пробы для определения содержания мочевины отбирали в пластиковые сосуды и немедленно помещали в терmostатируемый пластиковый короб с охлажденными термоэлементами. Анализ проводили в береговой лаборатории фотометрическим методом на длине волны 520 нм с диацетилмоноксимом по методике в редакции В. В. Сапожникова⁴. Сероводород в воде анализировался фотометрическим методом² ($\lambda = 626$ нм).

Лабильные сульфиды в донных отложениях определяли по методике⁵. Пробы отбирали пластиковой трубкой-дозатором из верхнего 5-сантиметрового слоя грунта после подъема дночерпателя, фиксировали добавками гидроксида натрия, сульфата цинка и аскорбиновой кислоты. В береговой лаборатории сульфиды переводили в газообразный сероводород и переносили в токе азота в поглотительную склянку для улавливания и количественного определения фотометрическим методом с диметил-парафенилендиамином.

Для установления серы элементной пробы воды экстрагировались гексаном и анализировалась методом хроматомасс-спектрометрии выбранных ионов в режиме электронного удара. Регистрировали ионы с массами 256, 224, 192, 160, 128 и 64 а. е. м. Тиосульфат определяли методом йодометрического титрования².

Образцы для определения синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) отбирали в стеклянные бутылки и фиксировали добавлением хлороформа с последующим анализом фотометрическим методом по цветной реакции с метиленовым синим².

³ Качественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций взвешенных веществ и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом : ПНД Ф 14.1:2:4.254-2009. Москва, 2009. 14 с.

⁴ Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / Под ред. В. В. Сапожникова. Москва : Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.

⁵ Массовая доля сульфидной серы в донных отложениях. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с N, N-диметил-п-фенилендиамином : РД 52.24.525-2011. Ростов-на-Дону : Росгидромет ; ГУ ГХИ, 2011. 32 с.

Отбор проб на растворенный метан проводили в специально подготовленные емкости темного стекла (10 мл) с герметично закрывающимися резиновыми пробками, укрепляемыми пластмассовыми крышками. Пробы фиксировали хлоридом ртути и подвергали анализу газоадсорбционной хроматографией на хроматографе «Цвет-106» в варианте анализа равновесного пара⁶.

Нефтепродукты в воде и донных отложениях определяли методом ИК-спектрофотометрии на инфракрасном концентратомере КН-2м после экстракции из воды четыреххлористым углеродом и выделения неполярных углеводородов на колонке с оксидом алюминия. При отборе в стеклянные бутылки темного стекла на 0,5 л пробы фиксировали четыреххлористым углеродом (2,5 мл) и доставляли в светонепроницаемых ящиках в береговую лабораторию. Фенолы в донных отложениях определяли путем щелочной экстракции, отделения от мешающих определению соединений с помощью колонки с оксидом алюминия и проявления фенолов по реакции с 4-аминоантипирином (фотометрирование на длине волны 500 нм)^{7,8}.

Тяжелые металлы в воде и донных отложениях определяли методом атомной абсорбции на атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ-З-ЭТА. Для определения ртути применяли методику «холодного пара» с накоплением на палладиевом концентраторе^{9,10}.

Растворенный органический углерод анализировали после фильтрования проб под вакуумом через стекломикроволоконные фильтры *MGF*, предварительно прокаленные при температуре 450 °C, для исключения загрязнения проб органическими компонентами и – при необходимости – для оценки содержания органических веществ во взвешенном веществе¹¹.

Результаты и обсуждение

Гидрометеорологические условия отбора проб

В период выполнения первой съемки, 4 июня, преобладал ветер юго-западного направления скоростью 0,5–3 м/с, который усилился к концу дня. Волновая обстановка менялась от штиля в первые часы работы до волнения 1–2 балла к ее окончанию. Прозрачность морской воды в среднем составляла

⁶ Методические указания. Методика выполнения измерений метана в водах парофазным газохроматографическим методом : РД 52.24.512-2002. Ростов-на-Дону : Росгидромет, ГУ ГХИ, 2002. 12 с.

⁷ Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в питьевых, природных и очищенных сточных водах методом ИК-спектрофотометрии на концентратомере КН-2м : ПНД Ф 14.1:2.4.168-2000. Москва, 2000. 22 с.

⁸ Методические указания по определению загрязняющих веществ в морских донных отложениях / под ред. С. Г. Орадовского. Москва : Моск. отд. Гидрометеиздата, 1979. № 43. 39 с.

⁹ Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кadmия, цинка, свинца, никеля и марганца в почвах, донных отложениях и осадках сточных вод методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии : ПНД Ф 16.1:2.2.2.3.36-02. Москва, 2002. 18 с.

¹⁰ Методика выполнения измерений массовых концентраций тяжелых металлов в питьевых, природных и очищенных сточных водах методом атомно-абсорбционной спектрометрии. ПНД Ф 14.1:2.4.140-98. Москва, 2000. 22 с.

¹¹ Методы определения содержания общего и растворенного органического углерода : ГОСТ Р 52991–2008. Москва : Стандартинформ, 2008. 17 с.

1,45 м, варьируя от 1,1 в портовой акватории до 2,5 м на выходе из порта. Температура воздуха изменялась незначительно в пределах 21,0–22,0 °С.

Во время второго отбора проб, 21 июля, преобладал ветер юго-западного направления со скоростью 1–3 м/с. Отмечена мелкая рябь на поверхности воды. Прозрачность морской воды в среднем составляла 2,90 м, изменяясь от 1,9 в портовой акватории до 7,0 м на выходе из порта. Температура воздуха варьировала в пределах 24,0–28,0 °С с максимальными значениями в полуденный период.

При выполнении последних работ, 16 сентября, преобладал ветер юго-западного направления скоростью 0,5–6 м/с, усилившийся к концу дня. Волнение моря менялось от штиля в первые часы работы до 3 баллов к ее окончанию. Прозрачность морской воды в среднем составляла 1,61 м, варьируя от 0,9 м в портовой акватории до 3,1 м на выходе из порта. Температура воздуха колебалась в диапазоне 23–27 °С, достигнув максимальных значений в послеполуденные часы.

Гидрохимические параметры водной среды в акватории Новороссийского порта в 2011 г.

Изменения температуры воды соответствуют естественным колебаниям – более низкие значения температуры в июне, максимальные в июле и несколько пониженные в сентябре, превышающие температуры первого месяца лета более чем на 3 °С (табл. 1). Разница температур воды в течение дня могла достигать нескольких градусов, что влияло на динамику концентрации растворенных газов, в первую очередь кислорода, и карбонатной системы.

Среднее значение солености вод в акватории порта в течение всех трех съемок было ниже, чем в контрольной точке (ст. 8), расположенной вне его границ (табл. 1). Это является естественным следствием стока р. Цемес и поступлением сточных вод. На ст. 11, которая наиболее подвержена влиянию пресного стока, фиксируется пониженный уровень солености в течение всех наблюдаемых периодов. На ст. 18 и 19 в отдельные периоды также наблюдались пониженные значения солености, обусловленные, вероятно, влиянием сброса сточных вод. Наиболее неравномерное распределение солености наблюдалось в июле. В этот период максимальная соленость отмечена в пределах акватории порта (ст. 14), а не в фоновой точке (ст. 8) в связи со сгонно-нагонными явлениями.

В период проведения исследований в Новороссийском порту *концентрации взвешенного вещества* были заметно повышены, достигая максимума на ст. 15 и 19 в июне и на ст. 3 в сентябре, наивысшее значение достигало 14,5 мг/л (июнь). Средние значения составляли в июне 5,41, в июле 1,79, в сентябре 4,98 мг/л (табл. 1), отмечено неравномерное распределение взвеси в портовых водах. Повышенное содержание взвешенного вещества в прибрежной зоне является естественным, однако в контексте данной работы оно усугубляется под воздействием антропогенной нагрузки. Значения прозрачности по диску Секки соотносятся с уровнем содержания взвешенного вещества на точках проведения измерений.

Уровень pH за весь период наблюдений изменился от 8,11 до 8,70 при среднем 8,47 (табл. 1). В июне превышение средних значений наблюдалось на ст. 9. Важно отметить: на ст. 13 обнаружено низкое значение pH, равное 8,11, что ниже среднего на 0,34, здесь же отмечен ряд других особенностей химического

состава вод. В июле на большинстве станций отмечено превышение рН до 8,70 (ст. 4). Вероятная причина – массовое «цветение» водорослей, что также подтверждается низкими концентрациями минеральных форм азота и фосфора при высоком содержании органических форм биогенных элементов (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Средние показатели качества воды в акватории порта по результатам экспедиций 2011 г.

Average water quality parameters in the port area based on the results of expeditions, 2011

Параметр / Parameter	4 июня / June 4	21 июля / July 21	16 сентября / September 16
T воздуха, °C / T , °C of air	21,90	27,71	25,14
T воды, °C / T , °C of water	19,75	24,42	23,08
Прозрачность, м / Transparency, m	1,59	2,89	1,72
Содержание взвешенного вещества, мг/л / Content of suspended matter, mg/l	5,41	1,79	4,98
Соленость, ‰ / Salinity ‰	16,64	16,17	16,98
pH	8,45	8,61	8,36
O_2 , мг/л / O_2 , mg/l	10,74	9,80	8,66
O_2 , %	74,46	129,00	113,39
БПК ₅ , мг/л / BOC ₅ , mg/l	2,74	5,85	1,82
C_{org} , мгС/л / C_{org} , mgC/l	7,57	6,01	7,38
Alk , мг-экв/л / Alk , mg-eq/l	3,63	3,39	3,40
PO_4 , мкг/л / PO_4 , mcg/l	6,76	13,43	н. о.
Робщ., мкг/л / P_{total} , mcg/l	48,76	40,19	22,39
Кремний, мг/л / Silicon, mg/l	0,20	0,23	0,08
NO_2^- , мкг/л / NO_2^- , mcg/l	10,95	10,20	3,00
NO_3^- , мкг/л / NO_3^- , mcg/l	128,29	118,43	40,13
NH_4^+ , мкг/л / NH_4^+ , mcg/l	23,81	87,22	22,83
$N_{общ}$, мг/л / N_{total} , mg/l	1,00	0,98	1,01
Мочевина, мкг/л / Urea, mcg/l	10,33	75,21	104,60
СПАВ, мкг/л / SSAS, mcg/l	13,47	53,88	30,92
Метан, мкл/л / Methane, μ l/l	15,35	17,61	25,53
Нефтепродукты, мг/л / Oil products, mg/l	0,34	0,13	0,35
Fe, мкг/л / Fe, mcg/l	47,33	60,00	30,89
Mn, мкг/л / Mn, mcg/l	28,36	34,62	3,92
Cu, мкг/л / Cu, mcg/l	19,81	16,52	9,03
Zn, мкг/л / Zn, mcg/l	5,86	7,69	6,61
Pb, мкг/л / Pb, mcg/l	8,40	10,64	5,92
Cd, мкг/л / Cd, mcg/l	0,01	0,66	0,35
Ртуть, мкг/л / Mercury, mcg/l	0,04	0,03	0,03

Примечание. Содержание H_2S , элементной серы, тиосульфата не определялось.

Note: The contents of H_2S , elemental sulfur, and thiosulfate were not defined.

Соответственно, на всех станциях, включая фоновую (ст. 8), установилось пересыщение вод кислородом. В сентябре значения pH заметно снизились, при этом отмечалось не столь существенное, как в июле, насыщение кислородом,

что может быть связано со сменой вегетирующих видов водорослей вследствие понижения температуры воды и освещенности. Режим pH в водах портовой акватории в значительной степени связан с явлениями эвтрофикации и лишь частично – напрямую с производственной деятельностью порта: в районе ст. 13 находится коллектор сточных вод г. Новороссийска, что, по-видимому, повлияло на низкие значения pH в июне.

Средняя концентрация растворенного кислорода, по данным всех трех съемок, составляла 9,73 мг/л, насыщенность 106 % (табл. 1), достигая максимума 158 % в июле на ст. 16, минимума – там же в июне. Распределение растворенного кислорода и насыщенности вод кислородом в портовой акватории довольно неравномерное. На фоновой станции 8 содержание кислорода и насыщенность несколько ниже среднего уровня, отмечаемого в портовой акватории. Содержания кислорода ниже предельно допустимых концентраций (ПДК) не обнаружено. Пересыщение вод кислородом наблюдали в июле и сентябре 2011 г. на всех станциях.

БПК₅ в июне при умеренной насыщенности вод кислородом (75 %) составляло в среднем 2,74 мгO₂/л; в июле в связи с пресыщением вод кислородом (129 %) из-за активного «цветения» водорослей БПК₅ повысился до 5,85 мгO₂/л с последующим снижением в сентябре до 1,82 мгO₂/л. Таким образом, превышение предельного норматива БПК₅ (3,0 мгO₂/л) отмечалось по средним концентрациям повсеместно в июле, когда интенсивная вегетация водорослей обусловила повышенную концентрацию легко разлагаемого органического вещества, и в июне на отдельных станциях. В водах фоновой станции 8 значение БПК₅ отмечалось на уровне, минимальном или близком к наименьшим концентрациям в акватории порта. Отмеченное в июле массовое «цветение» водорослей затронуло всю прибрежную зону моря, а не только портовую акваторию, так как БПК₅ составляло здесь 4,82 мгO₂/л (сопоставимо с концентрациями в водах акватории порта), насыщение кислородом достигало 123 %.

Средняя концентрация органического углерода в 2011 г. составляла 7,7 мгC/л, близкие к этому значения фиксировались в ходе натурных наблюдений ЮНЦ РАН в северо-восточной части Черного моря – от 6,5 до 9,5 мгC/л. В гораздо меньшей по площади акватории Новороссийского морского торгового порта по результатам измерений получен существенно более широкий диапазон концентраций – от 4,9 до 12,6 мгC/л при среднем значении 7,0 мгC/л (табл. 1). Более высокие концентрации обусловлены, по-видимому, влиянием загрязненного стока, а также поступлением пресных вод с характерным для них высоким содержанием органического углерода (10 мгC/л и выше). Появление вод с низким содержанием C_{опр} можно объяснить явлениями соосаждения и сорбции органического вещества на частицах неорганической взвеси.

Отметим, что исследование происхождения взвешенных частиц не входило в задачи исследования. Процессы седиментогенеза приводят к формированию донных отложений порта и, как следствие, к накоплению значительного количества органического вещества. Расходование кислорода на бактериальное окисление органики в донных отложениях, естественно, ведет к образованию анаэробных зон. В фоновой точке (ст. 8), где концентрация взвешенного вещества как минимум на порядок ниже, содержание лабильных сульфидов в донных отложениях сравнительно невысокое или нулевое. При осаждении

отмерших микроводорослей в период их массового «цветения» растворенное органическое вещество увлекается в нижние горизонты и в донные отложения (аналог биогенной седиментации). Возможно, этим объясняется пониженная концентрация растворенного органического углерода в июле.

Щелочность вод Черного моря в аэробной зоне сравнительно стабильна и обычно удерживается на уровне 3,3 мг-экв/л [4]. В прибрежных водах ее значения повышаются под влиянием пресных вод гидрокарбонатно-кальциевого типа. Зарегистрированные значения щелочности в водах акватории порта в большинстве случаев повышенны и варьируют от 3,3 до 3,7 мг-экв/л; в отдельном случае щелочность достигала 5,0 мг-экв/л (ст. 13 в июне). Минимальные значения, как и ожидалось, отмечены в фоновой точке (ст. 8), где влияние берегового стока невелико.

Щелочность не нормируется, но резко выделяющиеся результаты измерений на ст. 13 не являются случайными, так как здесь отмечено необычно низкое значение pH (8,11), существенно отличающееся от данных всего массива, а также минимальные концентрации общего азота, кадмия, цинка и марганца. В то же время здесь обнаружены нетипично высокие концентрации общего и минерального фосфора, кремнекислоты, ионов аммония, метана и особенно высокие концентрации нитрит- и нитрат-ионов.

Биогенные элементы. На протяжении всех трех съемок концентрации минерального фосфора оставались на низком уровне, иногда достигая предела обнаружения, что свидетельствует об интенсивных производственных процессах. Среднее содержание фосфатов, согласно июньской съемке, составило 6,76 мкг/л (табл. 1), максимальное значение (83 мкг/л) не превысило норматив ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения (150 мкг/л). Распределение общего фосфора (средняя концентрация 37 мкг/л) неоднородно, при этом стабильно повышенные концентрации отмечались на ст. 11 (134 мкг/л). Аномально высокое значение общего фосфора – 407 мкг/л – зафиксировано на ст. 13, что, вероятнее всего, обусловлено техногенными факторами.

Концентрации нитритного азота достаточно малые, за исключением ст. 11 и 13, где его содержание достигало 23 и 128 мкг/л соответственно. В летний период концентрации нитрит- и нитрат-ионов снизились до аналитического нуля, а общего азота – остались на уровне 0,71–1 мг/л. Содержание аммонийного азота варьировалось от 10 до 90 мкг/л в июне, от 10 до 236 мкг/л в июле, а в сентябре на большинстве станций снизилось до нуля. Превышения ПДК не зарегистрировано.

Содержание кремния в среднем отмечалось на уровне 0,17 мг/л, изменяясь в пределах от 0,05 до 0,87 мг/л. При этом минимальная и максимальная концентрации зафиксированы на ст. 11, что указывает на терригенное происхождение кремния в исследуемом районе.

Концентрации мочевины в среднем за период исследований составили 63 мкг/л, достигая высоких значений в 266 и 200 мкг/л в июле и сентябре соответственно. Ее пространственное распределение характеризуется неравномерностью, повторяющейся в каждой съемке, при этом превышения ПДК зафиксировано не было.

Загрязняющие вещества в воде и донных отложениях акватории Новороссийского порта в 2011 г.

Восстановленные формы серы. Согласно полученным результатам, значимых концентраций сероводорода, тиосульфата и серы элементной не зарегистрировано. Элементная сера не была обнаружена ни в одном из хроматографических пиков, на масс-спектре наблюдаются лишь интенсивные пики, соответствующие углеводородам метанового ряда (массы 43, 57, 71, 85, 99, 111), что указывает на нефтяное загрязнение, в соответствии с рис. 2. Таким образом, в акватории порта зон сероводородного заражения, захватывающего всю толщу вод, не обнаружено.

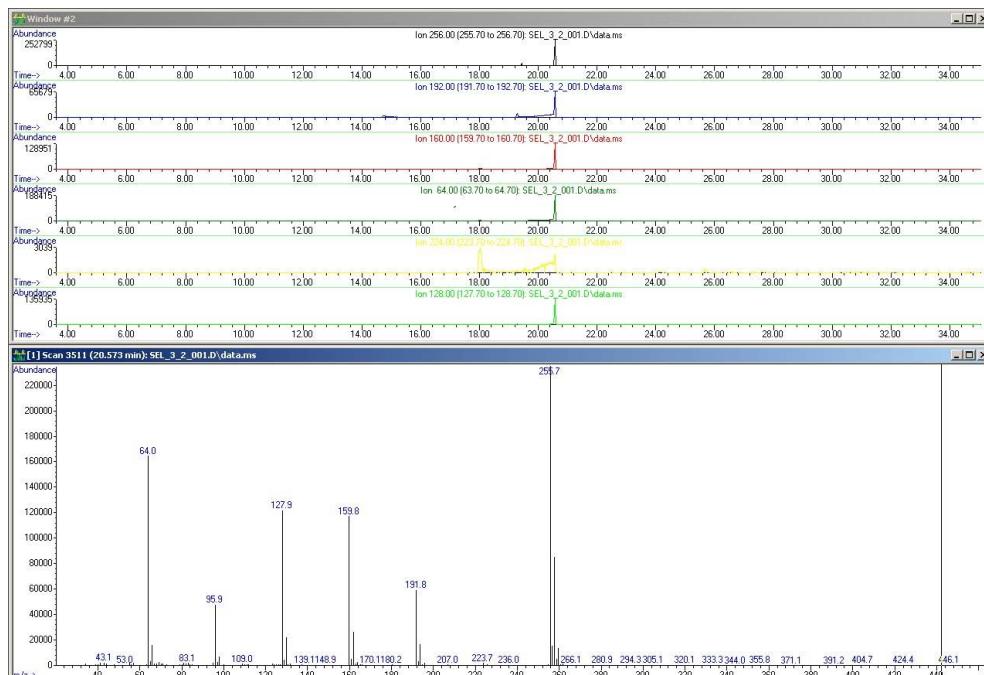


Рис. 2. Регистрация элементной серы в донных отложениях методом хроматомасс-спектрометрии

Fig. 2. Record of elemental sulfur in bottom sediments by the chromatography mass spectrometry method

В июне средние концентрации СПАВ отмечались на уровне допустимых, в июле превышение ПДК наблюдалось на ряде станций (4, 6, 16, 18 и 19) и связано с поступлением сточных вод, повторно превышение ПДК зарегистрировано на ст. 6.

Опасных концентраций метана в первую съемку не зафиксировано. Максимальное значение (36,4 мкг/л) зафиксировано в июне на ст. 13, в июле – на ст. 17 (117 мкг/л) под воздействием сточных вод), в сентябре на ст. 11 (43,8 мкг/л); минимальные значения за весь период работ относятся к контрольной станции 8 и составляют 2,3 мкг/л.

Среднее содержание нефтепродуктов в воде на протяжении всех трех съемок превышало ПДК в пять раз, что обусловлено высокими показателями

на отдельных станциях. Так, в июне на ст. 14 отмечено 60-кратное превышение ПДК, в июле и сентябре на ст. 12 ПДК были превышенны в десятки раз. Таким образом, можно утверждать, что воды акватории порта загрязнены нефтепродуктами.

Отмечено превышение нормативов ПДК по *содержанию тяжелых металлов* почти на всех станциях отбора проб. Концентрации железа в два раза превышали ПДК в июне на ст. 11, в два-три раза в июле на ст. 1–4, в три раза в сентябре на ст. 3. По марганцу зарегистрировано 5-кратное повышение ПДК на ст. 1 и низкие уровни загрязнения на остальных станциях во время июньской съемки. В июле ПДК были превышенны на ст. 1 и 9, в сентябре высоких значений не наблюдалось. Содержание меди было превышено на ст. 18 в июне и на ст. 5 в сентябре. Концентрации цинка в три раза превышали ПДК на ст. 14 в июне и на ст. 1 в июле. По свинцу наблюдалось превышение ПДК в 3 раза на ст. 18 в июне и в 1,5 раза на ст. 1 в июле. Содержание кадмия не превышало ПДК ни на одной станции за весь период наблюдений. Концентрации ртути были выше ПДК в 8–20 раз на ст. 4 в июне, на ст. 20 в июле и на ст. 17 в сентябре. Данные о средних концентрациях тяжелых металлов, а также прочих загрязняющих веществ и гидрохимических параметрах представлены в табл. 1.

Загрязненность донных отложений

Формирование анаэробной зоны в верхнем слое донных отложений – прямое следствие поступления органических веществ из водной толщи моря в процессе седиментации взвешенного вещества и накопления их в донных отложениях. Содержание сульфидов очень изменчиво, например в июне его значения колеблются от 3,7 до 192 мг/г. Средние концентрации, по результатам всех трех съемок, различаются несущественно – 47,6 мг/кг (июнь), 49,5 мг/кг (июль), 55,3 мг/кг (август) (табл. 2). В фоновой точке (ст. 8) показатели сульфидов оставались минимальными, низкие концентрации отмечены также на ст. 3, наивысшие значения зафиксированы на ст. 11 и 12. Полученные результаты близки к опубликованным данным по северо-восточной части Черного моря [5, 6].

Сероводород в донных отложениях порта обнаруживается почти повсеместно (табл. 2). Отметим: тонкий верхний слой донного грунта в порту имеет бурую окраску, что характерно для окисленных форм металлов, в частности железа, и только глубже 1–3 см располагаются слои черного цвета с характерным сероводородным запахом. Это свидетельствует об относительно хорошей аэрируемости водной толщи в акватории порта вплоть до нижних горизонтов.

Нефтепродукты в донных отложениях Новороссийского порта распределены неравномерно, варьируя в широком диапазоне значений – от 0,13 до 1,61 мг/кг. В среднем их концентрации находились на уровне 0,88–0,98 мкг/л на протяжении трех съемок (табл. 2), минимум отмечался на фоновой станции 8, максимум – на ст. 11, 12 и 6, которые находятся на значительном отдалении друг от друга. На ряде станций наблюдался стабильный уровень загрязнения нефтепродуктами – довольно низкие концентрации на ст. 9 и 10, постоянно высокие на ст. 13 и 17.

Накопление фенолов в донных отложениях имеет более однородный характер и варьирует за весь период наблюдений от 0,5 до 2,7 мкг/г. Максимум

концентраций приходится на ст. 10 и 11, где прослеживается влияние пресных речных вод, минимальные значения стабильно фиксируются на контрольной станции 8.

Уровень содержания железа в донных отложениях изменялся в довольно широком диапазоне от 1,7 до 34,2 мкг/г, при этом большинство значений находилось в интервале от 8,1 до 34,2 мкг/г. Средние концентрации за период работы составили: 17,4 мкг/г в июне, 19,0 мкг/г в июле и 14,0 мкг/г в августе (табл. 2). Максимум зафиксирован на ст. 20 и 21 в восточной части порта, а минимум – на ст. 7. На контрольной станции 8 накопление железа составляло 10–18 мкг/г.

Концентрации марганца в июне и сентябре составляли соответственно 0,15 и 1,0 мкг/г. В июле отмечено повышение до 4 мкг/г на ст. 4, что значительно превысило средние значения, варьирующие от 0,47 в июне и 0,45 в сентябре до 0,87 мкг/г в июле. Максимальные содержания марганца в донных отложениях Новороссийского порта наблюдались на ст. 12 и 13.

Максимальный уровень содержания меди в осадках наблюдался на ст. 4 (почти до 30 мкг/г в июле и сентябре) и на ст. 11–15 (до 25 мкг/г). Концентрации меди на ст. 8 составляли 12 мкг/г. В июне были отмечены повсеместно пониженные концентрации меди, которые на большинстве станций варьировались от 10 до 15 мкг/г.

Таблица 2
Table 2

Средний химический состав донных отложений в акватории порта
Average chemical composition of bottom sediments in the port water area

Параметр / Parameter	4 июня / June 4	21 июля / July 21	16 сентября / September 16
Сульфиды, мг/г / Sulfides, mg/g	47,61	49,46	55,28
Нефтепродукты, мг/кг / Oil products, mg/kg	0,94	0,88	0,98
Фенолы, мкг/г / Phenols, mcg/g	1,71	1,42	1,84
Fe, мкг/г / Fe, mcg/g	17,44	18,96	14,22
Mn, мкг/г / Mn, mcg/g	0,47	0,87	0,45
Ni, мкг/г / Ni, mcg/g	11,34	22,61	19,71
Cu, мкг/г / Cu, mcg/g	65,76	104,79	90,57
Ртуть, мкг/г / Mercury, mcg/g	0,21	0,32	0,24

Таким образом, в результате изучения гидрохимического режима акватории Новороссийской бухты выявлено, что его изменчивость определяется следующими основными факторами: динамикой термохалинной структуры вод, интенсивностью поступления поверхностных речных, сточных канализационных и ливневых вод, интенсивностью биологических процессов.

Изменение термохалинной структуры вод обуславливает содержание растворенных газов, окислительно-восстановительный потенциал, водородный показатель, функционирование карбонатной системы и т. д. Поверхностный

речной и ливневый сток, а также сток канализационных вод оказывает наиболее сильное воздействие на кутовые части порта, приводя к возрастанию концентрации взвешенных веществ, биогенных элементов, загрязняющих веществ, снижению содержания кислорода и pH. Под воздействием пресного стока трансформируются планктонные сообщества, поскольку он определяет скорость биохимических процессов, провоцирует цветение воды, и, как следствие, снижение содержания биогенных элементов при одновременном увеличении pH и концентрации кислорода. Динамика прибрежных вод, которая в Черном море имеет выраженный сезонный характер и обусловлена как синоптическими процессами, так и общей гидрологией водоема, определяет степень «промываемости» акватории порта, она также связана с процессами апвеллинга, сгонно-нагонными явлениями (которые, отметим, в период наблюдений зафиксированы не были).

Как указывалось, акватория Новороссийского порта характеризуется ограниченным водообменом из-за портовых сооружений, в первую очередь восточного и западного молов, которые препятствуют свободному водообмену с открытой частью бухты [7]. Остальная часть Новороссийской бухты характеризуются более активным водообменом, значительными глубинами (от 17 до 35 м) и высокой прозрачностью воды (до 15 м). Направление и скорость течений в бухте изменяются в зависимости от ветрового режима. При сильных сгонных ветрах нарушается привычная циклоническая система течений, что формирует обратные течения, поднимающие глубинные воды к поверхности у берегов. Циркуляция вод наблюдается и во время штилей, когда поверхностное течение направлено почти перпендикулярно берегу – от восточного берега к западному. Обратный круговорот возникает при западных и юго-западных ветрах, которые затягивают поверхностные воды из открытого моря в бухту. Наибольший нагон поверхностных вод происходит при юго-восточных и южных ветрах. Северо-западные ветры, которые способствуют выносу воды из бухты и ее самоочищению, встречаются достаточно редко [8].

Несмотря на превышения некоторых параметров на отдельных станциях в период работ, средние значения гидрохимических параметров по всей акватории порта не превышали установленных нормативов ПДК. Отдельно отметим ст. 13, которая по таким показателям, как pH, содержание органического углерода, кислорода, метана, биогенных элементов, существенно отличалась от остальных станций, что, по нашему мнению, связано с влиянием стока р. Цемес и канализационных сбросов.

За период исследований в 2011 г. концентрации в поверхностном слое метана (июль), СПАВ (июль, сентябрь), нефтепродуктов (все сезоны), тяжелых металлов: железа (все сезоны), марганца (июнь, июль), меди (июнь, сентябрь), цинка (июнь, июль), свинца (июнь, июль), ртути (все сезоны) – превышали ПДК в воде объектов рыбохозяйственного значения. Следует подчеркнуть, что превышение ПДК отмечалось на отдельных станциях, тогда как на соседних станциях, находящихся в нескольких сотнях метров, указанная ситуация не наблюдалась. Это свидетельствует о сложном гидрологическом режиме в акватории порта и, возможно, точечных источниках поступлении поллютантов (канализационный сток, сброс с судна или операции с грузами). Анализ полу-

ченных данных и их сравнение с фондовыми материалами ЮНЦ РАН позволяет говорить об относительно высоком загрязнении донных отложений (на отдельных станциях) нефтепродуктами и тяжелыми металлами. Косвенным подтверждением этому служат данные фоновой станции (находящейся за пределами порта), где аналогичные показатели существенно ниже.

Выводы

Анализ материалов гидрохимического исследования 2011 г. показал, что гидрохимический режим акватории Новороссийского порта характеризуется значительной пространственной неоднородностью, обусловленной комплексным влиянием природных (динамика термохалинной структуры вод, речной сток, интенсивность биологических процессов) и антропогенных факторов (поступление канализационных и сточных вод, деятельность порта).

Влияние поверхностного речного и ливневого стоков, а также стока канализационных вод в наибольшей степени проявилось в кутовых частях акватории порта, приводя к возрастанию содержания взвешенных веществ, биогенных элементов, загрязняющих веществ, снижению содержания кислорода и pH, изменению видов планктонных сообществ.

Средние значения гидрохимических параметров по водной акватории порта не превышали установленных рыбохозяйственных ПДК, за исключением содержания нефтепродуктов (превышение ПДК в 2–20 раз), СПАВ и ряда тяжелых металлов (железо, марганец, медь, цинк – превышение ПДК в 2–4 раза) на станциях, подверженных влиянию речных и канализационных стоков.

Установлен относительно высокий уровень загрязнения донных отложений бухты (на отдельных станциях) нефтепродуктами и тяжелыми металлами, по сравнению с данными фоновой станции (находящейся за пределами Новороссийского порта). Высокий уровень загрязнения фенолами проявляется на станциях, подверженных влиянию пресноводного стока. Это свидетельствует о накоплении поллютантов и требует наблюдения за их дальнейшей миграцией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ясакова О. Н., Часовников В. К. Влияние гидрохимического режима на развитие фитопланктона в акватории Новороссийского порта (Черное море) // Морской экологический журнал. 2014. Т. 13, № 2. С. 90–101.
2. Часовников В. К., Ясакова О. Н., Бердников С. В. Параметры гидрохимического режима и состояние фитопланктона в акватории Новороссийского порта (Черное море) в 2009 г. // Современное состояние и методы изучения экосистем внутренних водоемов : сборник материалов I Всероссийской научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Ивановича Куренкова. Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2015. С. 143–150.
3. Ясакова О. Н., Часовников В. К. Гидрохимический режим вод и состояние фитопланктона в порту Новороссийск и за его пределами в 2010 году // Современные методы и средства океанологических исследований : материалы XV Всероссийской научно-технической конференции (МСОИ-2017). Москва : ИОРАН, 2017. Т. 1. С. 310–314.
4. Кондратьев С. И., Медведев Е. В., Коновалов С. К. Величины общей щелочности и pH в водах Черного моря в 2010 – 2011 годах // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 4. С. 36–47. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2017-4-36-47>
5. Нефтяное загрязнение Азовского и Черного морей растет / Г. Г. Матишов [и др.] // Природа. 2016. № 5 (1209). С. 64–69.

6. Немировская И. А., Лисицын А. П. Углеводороды в водах и донных осадках прибрежных районов северо-восточной части Черного моря // Доклады Академии наук. 2015. Т. 464, № 3. С. 334–340. <https://doi.org/10.7868/S0869565215270195>
7. Богданова А. К. Сгонно-нагонная циркуляция и термический режим Черного моря // Труды Севастопольской биологической станции. Киев : Наукова думка, 1959. Т. 11. С. 262–283.
8. Гидрофизическая структура и динамика вод (северо-восточной части Черного моря) / И. М. Овчинников [и др.] // Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикаспийской зоны Черного моря. Москва : Недра, 1996. Гл. 6. С. 132–202.

Об авторах:

Матишов Геннадий Григорьевич, заместитель президента РАН, научный руководитель ЮНЦ РАН, академик РАН, ФГБУН ФИЦ ЮНЦ РАН (344006, Россия, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, д. 41), ORCID ID: 0000-0002-6595-6172, SPIN-код: 7781-2780, ssc-ras@ssc-ras.ru

Степаньян Олег Владимирович, заведующий лабораторией прикладной океанографии, ведущий научный сотрудник ЮНЦ РАН (344006, Россия, г. Ростов-на-Дону пр. Чехова, д. 41), доктор биологических наук, ORCID ID: 0000-0003-4774-4835, SPIN-код: 6344-5427, step@ssc-ras.ru

Анциферова Марина Артуровна, инженер-исследователь лаборатории гидрологии и гидрохимии ЮНЦ РАН (344006, Россия, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, д. 41), ORCID ID: 0009-0006-6549-8606, SPIN-код: 3063-3180, m12antsiferova@mail.ru

Алешина Елена Геннадиевна, младший научный сотрудник лаборатории гидрологии и гидрохимии ЮНЦ РАН (344006, Россия, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, д. 41), ORCID ID: 0000-0002-9014-2859, SPIN-код: 5588-3686, aleshina@ssc-ras.ru

Сойер Вячеслав Григорьевич, кандидат химических наук, с. н. с., ЮНЦ РАН