

ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГИДРОСФЕРЕ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И  
ИНЖЕНЕРНЫЕ АСПЕКТЫ  
HAZARDOUS PROCESSES IN THE HYDROSPHERE: FUNDAMENTAL  
AND ENGINEERING ASPECTS

УДК 556.044+556.54+556.166+556.332.72

DOI: 10.34753/HS.2024.6.2.138

**ВЛИЯНИЕ СТОКА РЕКИ ЧЕРНОЙ  
(СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ РЕГИОН)  
НА УСТЬЕВОЕ ВЗМОРЬЕ  
ВО ВРЕМЯ ПАВОДКОВ**

Р.Я. Миньковская<sup>1\*</sup>, А.Н. Демидов<sup>2\*\*</sup>,  
С.В. Наривончик<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр “Морской гидрофизический институт РАН”, г. Севастополь, Россия; <sup>2</sup> Севастопольское отделение Федерального государственного бюджетного учреждения “Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова”, Севастополь, Россия  
e-mail: \*rosmink@yandex.ru, \*\*sev-oasis@mail.ru

**THE EFFECT OF THE RUNOFF OF THE  
CHERNAYA RIVER (SEVASTOPOL  
REGION) ON THE ESTUARINE COAST  
DURING FLOODS**

Roza Ya. Minkovskaya<sup>1\*</sup>, Alexander N. Demidov<sup>2\*\*</sup>,  
Svetlana V. Narivonchik<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center “Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences”, Sevastopol, Russia; <sup>2</sup> Sevastopol branch of the Federal State Budgetary Institution “N.N. Zubov State Oceanographic Institute”, Sevastopol, Russia  
e-mail: \*rosmink@yandex.ru, \*\*sev-oasis@mail.ru

**Аннотация.** На основе многолетней (1991–2023 гг.) и оперативной (2024 г.) информации Отдела гидрофизики шельфа МГИ РАН получены данные о влиянии стока р. Черной на устьевое взморье в период паводков различного генезиса. Установлено, что наибольшее влияние на поверхностный слой воды Севастопольской бухты, в условиях регулирования речного стока Чернореченским водохранилищем, оказывали паводки природно-антропогенного происхождения. Например, аварийный сброс в нижний бьеф водохранилища в январе 2024 г., вызвал распреснение поверхностного слоя воды значительной части устьевого взморья до 2–17 ‰, что в последние 30 лет по натурным наблюдениям не отмечалось. В период этого паводка в западную часть Севастопольской бухты поступала вода из прилегающей части Черного моря соленостью 18–20 ‰. Во фронтальной зоне горизонтальные

**Abstract.** Data on the effect of the Chernaya River runoff on the estuarine coast during floods of various genesis were obtained based on long-term (1991–2023) and operational (2024) information from the Shelf Hydrophysics Department of Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences. It was found that floods of natural and anthropogenic origin had the greatest impact on the surface water layer of the Sevastopol Bay under the conditions of regulation of river runoff by the Chernaya River reservoir. For example, an emergency discharge into the lower reaches of the reservoir in January 2024 caused the desalination of the surface water layer of a significant part of the estuarine coast up to 2–17 ‰, a phenomenon not observed in field studies over the past 30 years. During this flood, water from the adjacent part of the Black Sea with a salinity of 18–20 ‰ entered the western part of Sevastopol Bay. In the frontal zone,

Minkovskaya R.Ya., Demidov A.N., Narivonchik S.V. The effect of the runoff of the Chernaya River (Sevastopol region) on the estuarine coast during floods. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*,

градиенты солености воды достигали 2–6 ‰ на км. Кроме того, рассматриваемый паводок вызвал геоморфологические изменения устьевое участка реки, затопление прилегающих территорий, что потребовало значительных средств для ликвидации негативных последствий его влияния на среду, население и хозяйство. Сравнительный анализ средних многолетних распределений солености поверхностного слоя воды устьевое взморья, выполненный с учетом природной цикличности гидрометеорологических характеристик, свидетельствует о наметившемся осолонении прибрежной акватории г. Севастополя, а анализ аномалий солености – об её зависимости от сбросов пресной воды из Чернореченского водохранилища.

**Ключевые слова:** устье р. Черной; паводки; опасные явления; распределение Севастопольской бухты; изменчивость солености воды; аварийные сбросы; влияние речного стока на устьевое взморье.

### Введение

Река Черная – основной источник водоснабжения Севастопольского региона и важная составляющая баланса воды, тепла и солей Севастопольской бухты, наибольшей части устьевое взморья реки. С речной водой на устьевой участок реки и устьевое взморье поступают растворенные и взвешенные вещества, лимитирующие жизнедеятельность биотической компоненты экосистемы устья и прилегающей части Черного моря. Несмотря на то, что сток р. Черной в период паводков оказывает существенное влияние на бухту, этот процесс изучен недостаточно из-за неоперативности наблюдений в период паводков, чаще отмечающихся в осенне-зимний период при неблагоприятных погодных условиях.

Система мониторинга устья р. Черной имеет ряд недостатков методического характера, часть которых обусловлена объективными причинами. Одна из них – асинхронность наблюдений: определение расхода воды, поступающего на устьевое взморье, не совпадает по времени с выполнением океанографических съёмок Севастопольской бухты; другая – отсутствие оперативного реагирования на резкое

the horizontal gradients of water salinity reached 2–6 ‰ per km. In addition, that flood caused geomorphological changes at the estuary section of the river, flooding of adjacent areas, necessitating significant funds to mitigate adverse effects on the environment, population and economy. A comparative analysis of the average long-term salinity distribution at the surface water layer of the estuarine coast, performed taking into account the natural cyclicity of hydrometeorological characteristics, reveals a trend of increasing salinity aof the coastal water area of Sevastopol, and the analysis of salinity anomalies indicates its dependence on freshwater discharges from the Chernaya River reservoir.

**Keywords:** mouth of the Chernaya River; floods; dangerous phenomena; desalination of the Sevastopol Bay; variability of water salinity; emergency discharges; influence of river runoff on the estuarine coast.

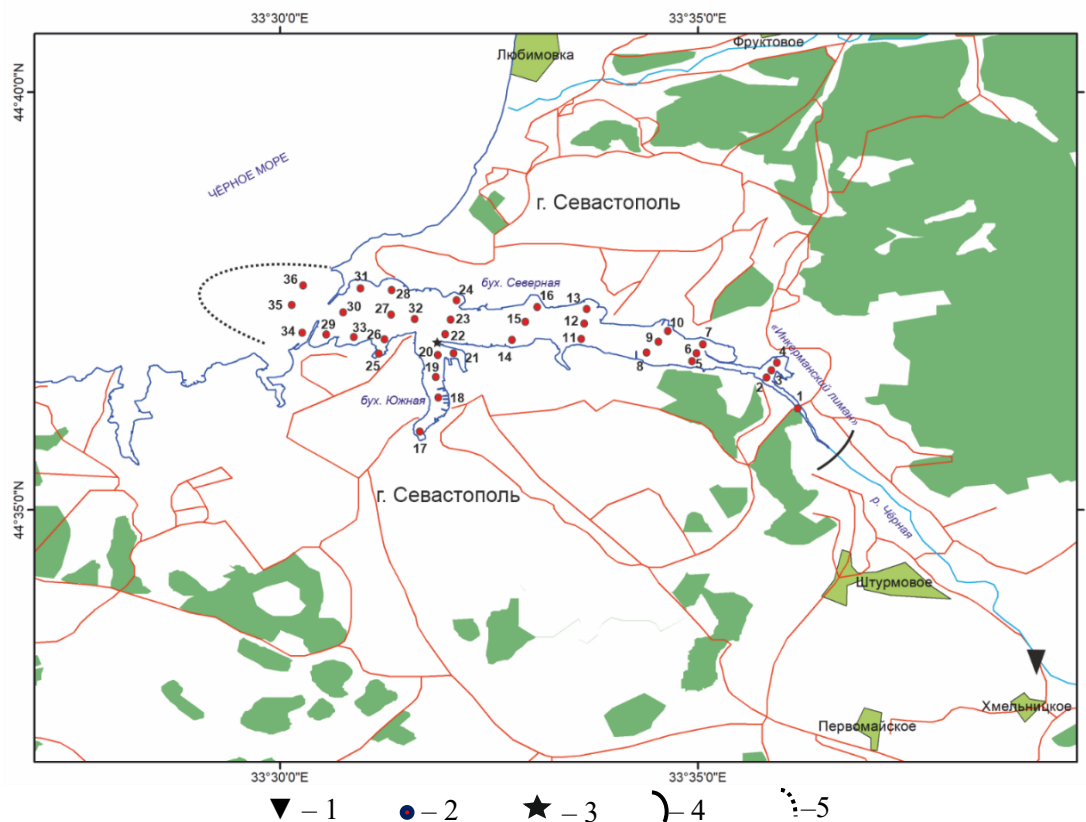
изменение гидрометеорологических условий. Данные Росгидромета о расходе воды на гидропосту (г/п) Хмельницкое только косвенно могут характеризовать поступление пресной воды на устьевое взморье, так как расход воды в вершине устья р. Черной, из-за водозабора для водоснабжения г. Севастополя, значительно меньше, чем на гидропосту. Кроме того, оперативная информация об изменении расхода воды на г/п Хмельницкое недоступна. Это препятствует изучению влияния паводков на режим и качество воды акватории г. Севастополя, имеющих важное значение для городского хозяйства.

Паводки на крымских реках относятся к опасным и особо опасным явлениям, так как могут наносить существенный ущерб при размыве дамб, берегов, затоплении территорий, используемых под застройку и сельское хозяйство. Для Севастопольского региона характерна застройка естественно-затапливаемых пойм, их перепланировка, подсыпка грунта или забор песка и гальки, изменение направления речных русел, их углубление, спрямление, очистка, сооружение поперечных и вдольбереговых дамб, износ

гидротехнических сооружений. Во время паводков, отмечающихся по несколько раз в год, устьевое взморье р. Черной быстро распресняется, формируется «слой скачка» плотности (солености и температуры), препятствующий вертикальному обмену кислородом и химическими веществами. С речным стоком поступает большое количество биогенных и загрязняющих веществ, наносы, мусор, смываемые во время ливней с территории водосбора, а также пресноводные гидробионты. Резкое опреснение воды осолоненного приемного водоема приводит к изменению физико-химических свойств среды обитания галофильных и галофобных гидробионтов, что негативно отражается на биотической компоненте устьевой экосистемы и качестве воды. В условиях недостаточного

ветрового перемешивания и водообмена Севастопольской бухты с морем градиенты всех абиотических характеристик сохраняются достаточно долго, что способствует аккумуляции загрязняющих веществ в слабопроточных частях устьевое взморья, ухудшая его экологическое состояние, ресурсный потенциал.

Большинство паводков в верховьях р. Черной аккумулируется в Чернореченском водохранилище, но бывают случаи сброса излишков паводковых вод в нижний бьеф. Иногда это приводит к негативным экологическим последствиям, затоплению территорий, что снижает качество окружающей природной среды и рекреационный потенциал региона. Последний такой случай наблюдался 19–25.01.2024 г. и рассмотрен в данной статье подробнее.



**Рисунок 1.** Сеть станций мониторинга в устье р. Черной:

1 – гидрологический пост Росгидромета (с. Хмельницкое), 2 – станции океанографических съемок МГИ РАН, 3 – метеорологическая станция Павловский мыс (МГ-II Севастополь), 4 – верхняя граница морского устья р. Черной, 5 – граница распреснения

**Figure 1.** The network of monitoring stations of Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences at the mouth of the Chernaya River:

1 – hydrological post of Roshydromet (Khmelnitskoye village); 2 – salinity sampling points; 3 – Pavlovsky Cape meteorological station (MG-II Sevastopol); 4 – upper boundary of the sea mouth of the Chernaya River; 5 – desalination boundary

Водохозяйственный комплекс г. Севастополя «находится в состоянии материально-технического упадка и перегруженности в результате урбанизации и сельскохозяйственного использования»<sup>1</sup>. Поэтому особое значение имеет сохранение природной среды от негативного воздействия экстремального стока рек в условиях неблагоприятных природных явлений, частота которых может увеличиваться при изменении климата. Неэффективное регулирование речного стока и чрезмерная нагрузка на прибрежные территории устьев малых рек (застройка естественно-затапливаемых пойм и аварийные попуски водохранилищ) – основная причина наводнений и материальных ущербов.

Протекая по Инкерманской долине р. Черная имеет очень малый уклон (1–4 ‰) и широкую пойму (0,8–1,0 км), масса пресной воды при паводках и половодье испытывает подпор не только со стороны Севастопольской бухты, особенно при нагонах, но и от сооружений, препятствующих свободному пропуску паводка (серия плотин, мостов и дорожных переходов). Поэтому на устьевом участке реки риски затопления территории максимальны. Ниже Чернореченского водохранилища в р. Черную впадают притоки: Байдарка, Уркуста, Ай-Тодорка и Сухая. При одновременных паводках на притоках в основное русло реки дополнительно поступает суммарный объем воды (соизмеримый с объемом воды в основном русле), что увеличивает масштабы наводнения в рассматриваемом регионе.

Таким образом, цель работы – исследование влияния паводочного стока на морское устье р. Черной – актуальна. Полученные результаты могут быть использованы для решения научных и прикладных задач океанологии, гидрологии и смежных наук, разработки научного обоснования усовершенствования природопользования,

моделирования масштабов влияния речного стока на приемный водоем. Объект исследования – морское устье р. Черной (рисунок 1), а предмет – анализ изменчивости опреснения поверхностного слоя воды устьевого взморья р. Черной по натурным данным.

### Состояние изученности

Обычно средние паводки на верхних притоках р. Черной (Боса и Узунджа) и сток рек Арманка, Календа и Бага без проблем аккумулируются Чернореченским водохранилищем<sup>2,3</sup>. При значительных паводках попуски воды в его нижний бьеф, где расположена селитебная часть города Севастополя и сел, объекты экономики и социальной инфраструктуры, оказывают влияние на устье реки, включающее устьевую участок, «Инкерманский лиман», искусственного происхождения [Миньковская, Демидов, 2016], Севастопольскую бухту (рисунок 1), вызывая затопление побережья с жилыми и хозяйственными постройками. Так как при значительных паводках отмечались случаи распреснения не только Севастопольской бухты, но и прилегающей части Черного моря на расстоянии 1–4 км от входа в бухту [Куфтаркова и др., 2006], в соответствии с РД 52.10.324-92<sup>4</sup> можно включать эту часть моря, на которую распространяется влияние максимального стока реки, в состав устьевой области реки.

Ранее, до сооружения Чернореченского водохранилища, «Инкерманского лимана» и канала («Река Черная»), соединяющего его с Севастопольской бухтой, Инкерманская долина при паводках затапливалась регулярно, в дельте р. Черной существовали плавни и заболоченные территории, остатки которых прослеживаются до сих пор [Миньковская, Демидов, 2016; Миньковская, 2020].

<sup>1</sup> Постановление правительства Севастополя «Об утверждении государственной программы города Севастополя «Экология и охрана окружающей среды города Севастополя» от 20.12.2021 № 660 ПП. <https://sev.gov.ru/docs/253/138353/?ysclid=lzjp0cht8o703596330>

<sup>2</sup> Чернореченское водохранилище. Правила эксплуатации [Текст] / УкрГИПроводхоз. — Киев, 1980. — Т. 1. — 271 с.

<sup>3</sup> Водохозяйственные расчёты Чернореченского водохранилища. Пояснительная записка. ЗАО «КрымНИОпроект». Симферополь, 1998. 30 с.

<sup>4</sup> РД 52.10.324-92 (Руководящий документ). Методические указания. Гидрологические наблюдения и работы на гидрометеорологической сети в устьевых областях рек. — М.: МО Гидрометеоздата, 1993. — 189 с. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293775/4293775610.pdf>

Паводки на р. Черной наблюдаются 1–15 раз в году, обычно в холодный период года. Их вызывают жидкие осадки или снеготаяние при оттепелях. Но паводки бывают и летом, когда слой и интенсивность осадков больше, чем зимой [Ефимов, 2022]. Продолжительность паводков 2–5 дней; при этом уровень воды на гидропостах Росгидромета может подниматься за сутки на 1–4 м [Ресурсы, 1966; Мырза, Овчарук, 2014]. Расход воды р. Черной у с. Хмельницкое во время паводков бывает больше среднего многолетнего расхода воды на один-два порядка, особенно когда в области формирования стока реки слой стокообразующих осадков превышает следующие градации [Ефимов, 2022]: 1300 мм (раз в 20 лет), 1600 мм (раз в 50 лет) и 1900 мм (раз в 100 лет). В этих случаях происходит затопление пойменных земель, и точное измерение расхода воды в русле реки невозможно из-за наводнения, затопления гидротрического мостика на г/п Хмельницкое и больших скоростей течения, не позволяющих выполнить инструментальные измерения.

По данным наблюдений<sup>2</sup>, средний многолетний расход воды р. Черной в створе гидроузла Чернореченского водохранилища (в 19 км от г/п Хмельницкое) составлял 1,84 м<sup>3</sup>/с, максимальные расходы воды в нижний бьеф водохранилища могут достигать 410 м<sup>3</sup>/с (0,1 %-ой обеспеченности) и 655 м<sup>3</sup>/с (0,01 %-ой обеспеченности), а без гарантийной поправки – даже 780 м<sup>3</sup>/с. Эти величины сопоставимы с меженным стоком р. Днепр в створе Каховской ГЭС [Миньковская, 2022]. Расходы воды в нижнем бьефе Чернореченского водохранилища редкой обеспеченности (0,1 % и 0,01 %), приведенные в [Волосухин, 2019] и обоснованные 63-летним рядом наблюдений на г/п Хмельницкое, составляли соответственно 370 и 660 м<sup>3</sup>/с. Здесь же показано, что предпаводковая сработка водохранилища для предотвращения его переполнения должна быть ~ 20,0 млн м<sup>3</sup>, т.е. почти треть полезного объёма водохранилища (61,2 млн м<sup>3</sup>).

Значимых тенденций паводочного стока р. Чёрной в 1947–2010 гг. [Овчарук, Тодорова, 2014] и в 1991–2020 гг. [Наривончик и др., 2022] не обнаружено.

В работе [Ермакова и др., 2022] проанализированы паводки на реках Крыма в 2021 г., вызванные обильными дождевыми осадками в летний период. Основное внимание авторы уделили паводку на р. Бельбек и ее притоках. При этом, влияние паводков на устьевое взморье не рассматривалось. Несмотря на то, что паводки были экстремальными, опасных последствий их воздействия на устье р. Черной не приводится. Очевидно, регулирование стока реки Чернореченским водохранилищем снизило возможный негативный эффект от паводка 2021 г. в устье этой реки, в то время как в её верховьях расход воды превысил норму почти в 13 раз. Даже паводок (на р. Сухой, притоке р. Черной), вызвавший прорыв дамбы пруда у Тороповой дачи, был нивелирован ниже по течению Гасфортовским водохранилищем.

В [Овсяный и др., 2007; Дегтерев, 2022] приводятся сведения о максимальных расходах воды, которые могут составлять 120 м<sup>3</sup>/с (в тёплый период года) – 200 м<sup>3</sup>/с (в холодный период года), а в [Мырза, Овчарук, 2014] утверждается, что максимальные расходы паводков летнего периода в 2 раза больше, чем в холодный период года.

Процесс распреснения Севастопольской бухты ранее изучался по натурным данным [Репетин и др., 2003; Овсяный и др., 2007; Миньковская, 2015, 2020; Совга, Хмара, 2020; Наривончик и др., 2022] и с помощью математического моделирования [Иванов и др., 2003; Михайлова, Шапиро, 2005; Слепчук, Совга, 2018]. Схемы распределения солёности воды в период проведения океанографических съёмок Севастопольской бухты (за 1998–2007 гг.) представлены в [Атлас, 2010]. Эти работы в основном касались анализа отдельных съёмок бухты или её частей (рисунок 1), за исключением работ [Миньковская, 2015, 2020; Наривончик и др., 2022], в которых данные натурных наблюдений обобщались за многолетний период. Однако даже при анализе изменчивости солёности за многолетний период, результаты исследований не характеризовали распреснение устьевое взморье целиком. Например, в [Орехова, Медведев, Овсяный, 2018] рассматривались съёмки акватории устья в 2007–2017 гг., но ни одного

случая тотального распреснения Севастопольской бухты не приводится. Кроме того, сказано, что масштабы «геохимической барьерной зоны» не зависят от стока, что не соответствует натурным данным, приведенным у других авторов [Куфтаркова, Губанов, Ковригина, 2006; Атлас, 2010; Совга, Хмара, 2020].

Несмотря на то, что были получены корреляционные зависимости солёности воды бухты от стока р. Черной [Миньковская, 2020], влияние максимального речного стока на распределение абиотических характеристик детально не изучалось. Синхронные определения расхода воды в вершине устья р. Черной (существенно отличавшегося от расхода воды на г/п Хмельницкое) и солёности воды устьевого взморья ранее не производились. Океанографические съёмки бухты обычно выполнялись в течение 2–3 дней [Атлас, 2010] при разных гидрометеорологических условиях. Изменчивость солёности воды в Севастопольской бухте существенная, под действием ветра ее распределение может измениться за несколько часов [Репетин и др. 2003]. Поэтому схемы распределения абиотических компонентов в устье р. Черной, представленные во многих работах, не всегда отражали реальную картину изменчивости основных гидрохимических характеристик в зависимости от речного стока.

Устье реки – промежуточное звено между речной и морской экосистемами, в котором при адвекции и смешении разнородных вод накапливаются и трансформируются органические, биогенные, загрязняющие вещества и микроэлементы [Малахова и др., 2020]. Здесь формируется специфическая экосистема, биологическая составляющая которой адаптируется к быстрой смене гидрологических условий водной среды.

Солёность воды лимитирует выживаемость гидробионтов разной степени толерантности к изменениям минерализации воды, что повышает риск заморных явлений и появления сероводорода в придонном слое воды [Хлебович, 1974; Ястреб, Хмара, 2007; Миньковская, 2015].

Отмеченные ранее [Наривончик и др., 2022] положительные тенденции солёности воды устьевого взморья р. Черной и неизменность минерализации речной воды способствуют

увеличению контрастности смешивающихся вод. Чем больше сток воды, тем меньше её минерализация [Миньковская, 2020]. Вынос пресноводных гидробионтов при паводках в осолоненную Севастопольскую бухту может привести к их гибели и вызвать негативные экологические последствия для экосистемы устья. Особенно уязвима экосистема восточной части Севастопольской бухты, в наибольшей степени подверженная влиянию речного стока [Орехова, Медведев, Овсяный, 2018] и характеризующаяся средним уровнем трофности [Слепчук, Совга, 2018]. В низовье р. Черной минерализация воды и содержание биогенных веществ увеличиваются из-за сброса сточных вод [Овсяный и др., 2007], что усиливает фактор эвтрофирования Севастопольской бухты.

Приток речных и сточных вод в Севастопольскую бухту (рисунок 1) во время паводков и ливней способствует формированию вертикального градиента плотности (солёности и температуры) воды, что затрудняет поступление кислорода в придонный слой, способствует возникновению гипоксии и приводит к резкому изменению биотической составляющей экосистемы, зачастую негативному [Орехова, Коновалов, 2018].

В работе [Tikhonova et al., 2022] показана важная роль повышенного стока р. Черной в формировании качества воды и донных отложений устьевого взморья реки «по гидрофизическим, гидрохимическим и микробиологическим показателям» в зоне фронтального раздела. Анализ распределения нефтяных углеводородов показал, что речная вода оказывает очищающий эффект на водную среду Севастопольской бухты и выносит в нее органические вещества, влияющие на содержание бактериобентоса.

Во время значительных паводков, количество пресной воды, поступающей в Севастопольскую бухту, сопоставимо с ее объемом [Репетин и др., 2003]. Неудовлетворительное экологическое состояние водоохраных зон на водосборе р. Черной – один из основных факторов поступления биогенных и загрязняющих веществ во время осадков. Транзит этих веществ в Севастопольскую бухту приводит к её загрязнению [Овсяный, Орехова, 2018], что снижает отмеченный в ряде работ [Миньковская,

2020; Tikhonova et al., 2022] очищающий эффект речной воды по отношению к содержанию в бухте нефтяных углеводородов и фенолов.

Отдельные зимние паводки исследовались ранее, особенно паводок 04.02.2015 г. [Совга, Хмара, 2020; Наривончик и др., 2022]. Однако в работе [Совга, Хмара, 2020] показан фрагмент распреснения восточной части устьевого взморья, а в работе [Наривончик и др., 2022] приводится вертикальная изменчивость солености воды вдоль оси Севастопольской бухты, обусловленная стоком реки около  $5 \text{ м}^3/\text{с}$ .

В работе [Иванов и др., 2003] с использованием численной квазиизопикнической многослойной модели воспроизведена термохалинная структура воды Севастопольской бухты и показано, что при увеличении стока р. Чёрной от  $1$  до  $37 \text{ м}^3/\text{с}$  поверхностный слой воды Севастопольской бухты распресняется до  $14,4\text{--}17,9\%$  и увеличивается вынос распреснённой воды в прилегающую часть моря. Динамика распределения солености воды под действием стока р. Чёрной и ветра показана в статье [Михайлова, Шапиро, 2005]. С помощью трехмерной нелинейной термогидродинамической модели рассчитано, что при изменении стока реки в пределах  $1\text{--}1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ , при сгонном ветре, слой воды  $5\text{--}10$  м в западной части бухты распреснялся до  $17\text{--}17,2\%$ , уровень воды при этом изменялся за 6 часов на  $7\text{--}9$  см (а его изменение на  $1$  см вызывало изменение расхода воды в проливе, соединяющем бухту с морем, на  $4 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

Один из основных факторов риска наводнений (наряду с климатическими вариациями погодных условий) – бессистемная застройка, которая активизировалась с 1990-х гг. [Данилов-Данильян и др., 2022]. Выполненная без научного обоснования (иногда путем самозахвата территорий водоохраных зон и прибрежных полос) застройка затопляемых пойм, сооружение преград для прохождения речного потока в паводок, износ гидротехнических сооружений, заиливание русел, их недостаточная расчистка и дноуглубление способствуют возникновению наводнений даже тогда, когда их могло бы и не быть.

### Материалы и методы

Регулярные наблюдения за соленостью поверхностного слоя воды Севастопольской

бухты на морской гидрометеорологической станции Севастополь прекращены в 1986 г. [Гидрометеорологические условия морей, 2012]. Анализ средних многолетних и аномальных распределений солености воды на устьевом взморье р. Чёрной выполнялся по данным экспедиционных наблюдений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН» (МГИ РАН) за период 1998–2024 гг. и Севастопольского отделения Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова» (СО ГОИН) с 1991 по 1997 гг. Соленость воды при этом измерялась гидрометрическими зондами ГАП-АК-12Р и ГАП-К-12Р и определялась по электропроводности, а также по хлорности воды аргентометрическим методом. Погрешность определения зависела от солености и температуры воды и составляла  $\pm 0,04\text{--}1,9\%$ . Всего рассмотрено 137 океанографических съемок.

Сеть станций многолетнего мониторинга МГИ РАН показана на рисунке 1. Однородность рядов наблюдений указанных организаций за соленостью воды, определяемой разными методами (с точностью  $0,5\text{--}1,0\%$ ), была установлена ранее в работе [Наривончик и др., 2022], что позволило объединить данные наблюдений в единый ряд. По съемкам (рисунок 1), выполненным МГИ РАН в Севастопольской бухте в течение  $1\text{--}3$  дней, не всегда можно было построить реальное распределение солености воды в ее акватории из-за существенной изменчивости гидрометеорологических характеристик под действием ветра и волнения.

Периоды осреднения выбраны с учётом изменчивости гидрометеорологических факторов формирования состояния устья. Рассматривалось два временных интервала, каждый из которых включал 14-летний цикл (по два семилетних периода в каждом), с характерными особенностями изменчивости солености воды, температуры воздуха, стока р. Чёрной и осадков [Наривончик и др., 2022]. В первом периоде (1996–2009 гг.) соленость воды устьевого взморья значимых тенденций не имела, а во втором

периоде (2010–2023 гг.) тенденции были значимыми (в среднем по станциям 0,04 ‰/год). При этом сток воды и слой осадков в обоих рассматриваемых периодах значимых тенденций не имели [Наривончик и др., 2022].

Повторяемость опреснения поверхностного слоя устьевое взморья определялась с использованием квантильного анализа. Критерием опреснения Севастопольской бухты считалось распреснение её западной части до солености 17,6 ‰ и ниже, т.е. на 40 и более % больше стандартной ошибки среднего значения и на 0,6 ‰ меньше средней многолетней солености воды (более 2-х её СКО) прилегающей части Черного моря [Гидрометеорологические условия, 2012].

Данные о расходе воды р. Черной на г/п Хмельницкое за прошлые годы взяты из Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов<sup>5</sup>. Средняя ошибка определения расхода воды около 6 %. Гидрологический пост в с. Хмельницкое действует с 01.06.1941, расположен в 11 км от устья, площадь водосбора

342 км<sup>2</sup>. Регулярные измерения расхода воды в вершине устья не производятся, хотя объем воды, поступающий на устьевое взморье, меньше чем на г/п Хмельницкое из-за водозабора для водоснабжения региона. Сток р. Черной зарегулирован Чернореченским водохранилищем с 1956 г.

Рассматривался случай паводка природно-антропогенного происхождения, произошедший в январе 2024 г. в результате ливневых осадков, переполнения Чернореченского водохранилища и аварийных сбросов воды в его нижний бьеф. Препятствием для свободного пропуска паводка на устьевое взморье р. Черной (включающее «Инкерманский лиман» и Севастопольскую бухту) было искусственное сооружение в районе вершины устья реки, пропускная способность которого была рассчитана на меженный режим стока (рисунок 2). Позже насыпь (рисунок 2) была поднята на 1,5–2,0 м, что и явилось причиной подпора сброшенной из Чернореченского водохранилища воды и затопления долины реки выше преграды (рисунок 3).



**Рисунок 2.** Дамба в районе вершины устья р. Черной в межень

**Figure 2.** A dam near the top of the mouth of the Chernaya River during low-water period

19.01.2024 и 22.01.2024 было выполнено рекогносцировочное обследование территории для выбора гидрометрического створа и сделаны измерения расхода воды р. Черной (19.01.2024 – измерителем скорости течения, а 22.01.2024 –

поплавками). Также расход воды измерялся вертушкой 23.01.2024, в этот же день было отобрано 28 проб на соленость воды устьевое взморья по схеме станций, представленной на рисунке 4.

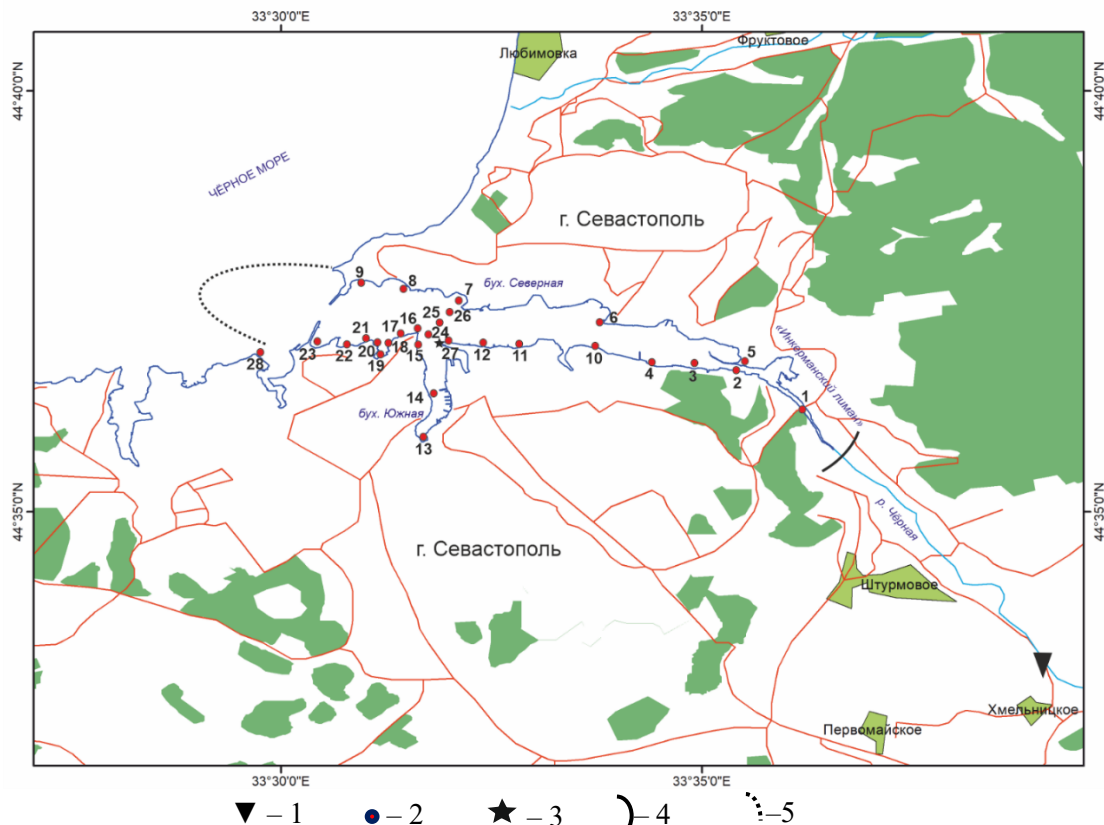
<sup>5</sup> Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации Федеральное агентство водных ресурсов. [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=505> (дата обращения: 11.09.2024).



**Рисунок 3.** Затопление поймы р. Черной 19.01.2024

**Figure 3.** Flooding of the floodplain of the Chernaya River on January 19, 2024

Соленость воды 24.01.2024 определялась рефрактометром RHS-10/ATC в 28 точках (рисунок 1), диапазон измерения солености 0–100 ‰, точность  $\pm 1$  ‰. Пробы термостатировались до 20 °С, соленость принималась равной среднему арифметическому значению из трёх определений.



**Рисунок 4.** Схема расположения пунктов наблюдений в устье р. Черной 24.01.2024:

1 – гидрологический пост Росгидромета (с. Хмельницкое); 2 – точки отбора проб на соленость; 3 – метеорологическая станция Павловский мыс (МГ-II Севастополь); 4 – верхняя граница морского устья р. Черной; 5 – граница распреснения

**Figure 4.** The layout of the observation points at the mouth of the Chernaya River on January 24, 2024: 1 – hydrological post of Roshydromet (Khmel'nitskoye village); 2 – salinity sampling points; 3 – Pavlovsky Cape meteorological station (MG-II Sevastopol); 4 – upper boundary of the sea mouth of the Chernaya River; 5 – desalination boundary

Расход воды рассчитывался методом «скорость–площадь» [Лучшева, 1983] ориентировочно. Правильность определения расхода воды тестировалась по зависимостям его составляющих от уровня воды [РПВ, 1966; Лучшева, 1983]. Для определения скорости течения использовался измеритель скорости водного потока ИСВП–ГР–21М1 с ИСО-1. Диапазон измерений скорости течения 0,04–5 м/с, средняя погрешность  $\pm 4,4\%$ .

Данные о погодных условиях в период выполнения работ 19–23.01.2024 приведены по материалам наблюдений морской гидрометеостанции Севастополь (МГ-II Севастополь), а за отдельные съемки многолетнего периода по данным<sup>6</sup>.

### Обсуждение результатов

В современный период (1991–2023 гг.) средний многолетний расход воды р. Черной на г/п Хмельницкое был равен  $1,73 \text{ м}^3/\text{с}$ , срочный расход воды изменялся от  $0,053$  до  $62,4 \text{ м}^3/\text{с}$ , средний многолетний расход паводков составлял  $20,7 \text{ м}^3/\text{с}$ , а минимальный –  $2,28 \text{ м}^3/\text{с}$ . При отсутствии значимых трендов расхода воды р. Черной в рассматриваемые периоды (1991–2023, 1996–2009, 2010–2023 гг.), средний расход воды в 1996–2009 гг. был равен  $2,18 \text{ м}^3/\text{с}$ , а в период 2010–2023 гг. –  $1,52 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Среднее многолетнее распределение солёности воды за 1991–2020 гг. представленное в [Наривончик и др., 2022], аналогично распределению солёности воды в 1991–2023 гг. Однако анализ изменчивости солёности поверхностного слоя воды по отдельным периодам показал, что в 1996–2009 гг. значимых тенденций не отмечалось, а в 2010–2023 гг. солёность воды на станциях (рисунок 1) начала увеличиваться на  $0,03\text{--}0,05\%$  в год. Это обусловлено увеличением температуры воздуха (испарением), солёности воды северо-западной части Черного моря [Наривончик и др., 2022] и изменением объемов речного стока, поступавшего в разные периоды на устьевое взморье реки. С учетом указанных различий средние многолетние распределения солёности

поверхностного слоя воды построены за два последних периода (рисунок 5).

Как видно из рисунка 5а, в первый период устьевое взморье было распреснено до  $17,6\%$ , изогалина  $18\%$  располагалась за пределами Севастопольской бухты, а в 2010–2023 гг. она продвинулась в центральную часть бухты (рисунок 5б). Это свидетельствует о прогрессирующем в последние годы осолонении устьевого взморья р. Черной [Наривончик и др., 2022]. При этом, солёность воды устьевого участка реки, «Инкерманского лимана» и канала «Река Черная» изменялась незначительно.

Распресняющее влияние стока р. Черной трудно дифференцировать от влияния пресной воды, поступающей при смыве во время ливней с урбанизированной городской территории непосредственно в бухту, так как основной причиной паводков являются дождевые осадки, охватывающие значительные территории.

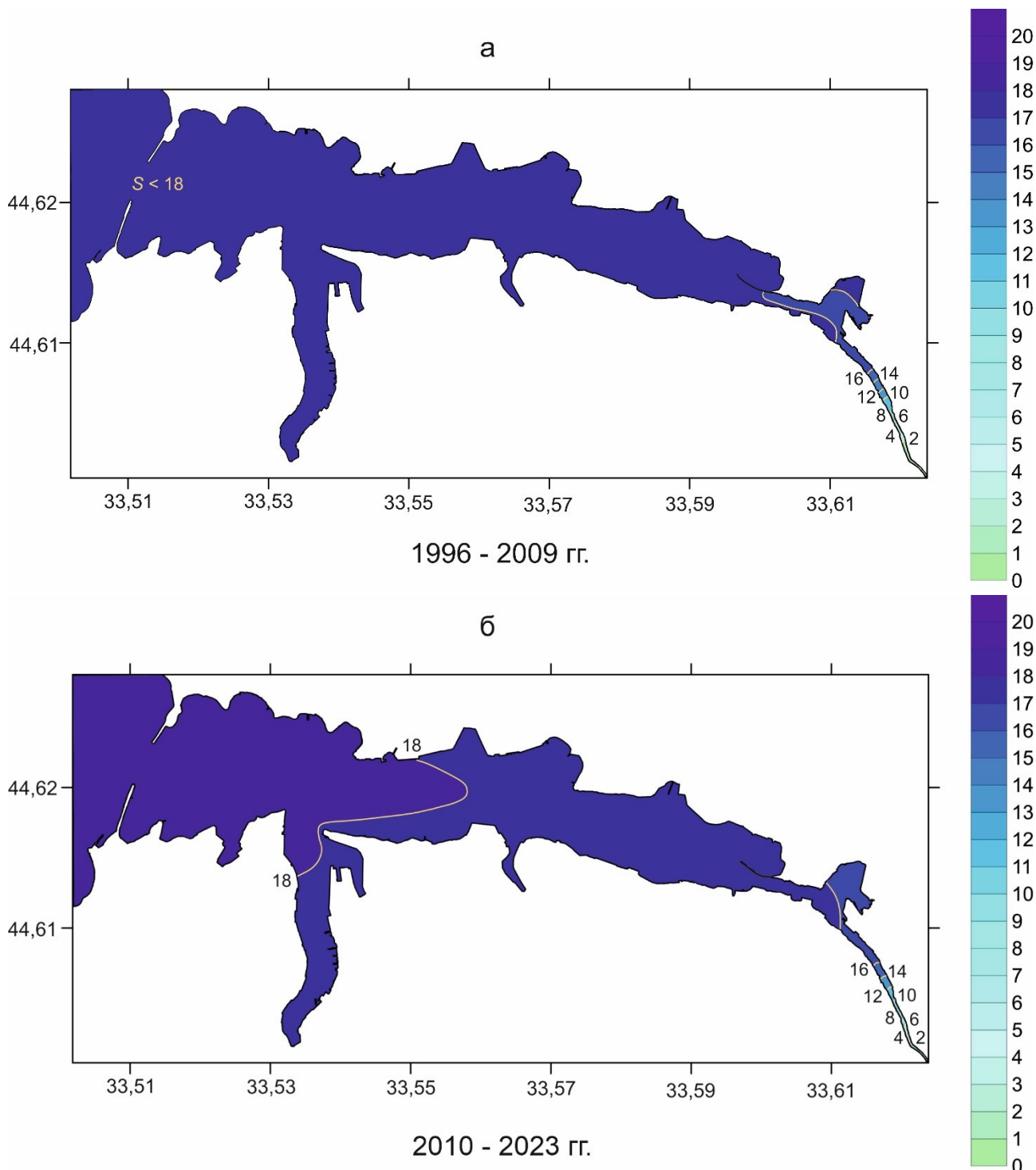
Исследование влияния наиболее значительных паводков на устьевое взморье р. Черной выполнялось с 1998 по 2024 гг. (рисунки 6, 7). В этот период в бассейне р. Черной паводки формировались преимущественно осенью и зимой, когда похолодания прерывались оттепелями или продолжительные жидкие осадки в области питания стока выпадали на мерзлую почву, что вызывало существенный приток воды в речную систему. Лишь иногда паводки отмечались летом. Осенью и зимой Чернореченское водохранилище подготавливают к приему половодья и паводков, и сбросы в нижний бьеф увеличиваются. К ним присоединяется боковая приточность, которая, при ливнях, в сумме сопоставима с попусками, а иногда и превышает их. Обычно это не приводило к существенному затоплению территории.

Ранее, до строительства прудов и Чернореченского водохранилища в бассейне реки, ковша Инкерманского порта и канала «Река Черная», Инкерманская долина в устьевой части реки затопливалась при паводках на  $0,7\text{--}1,0$  км, в устье реки существовали плавни и заболоченные земли [Миньковская, Демидов, 2016]. Противопаводковая емкость Чернореченского

<sup>6</sup> Архив погоды [Электронный ресурс]. URL: [https://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Севастополе](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Севастополе) (дата обращения: 18.09.2024)

водохранилищ, при правильной эксплуатации его гидротехнического комплекса, позволяет трансформировать паводок редкой повторяемости без негативных последствий.

Однако для этого надо иметь надежный прогноз паводочного стока достаточно большой заблаговременности, что пока не всегда возможно.



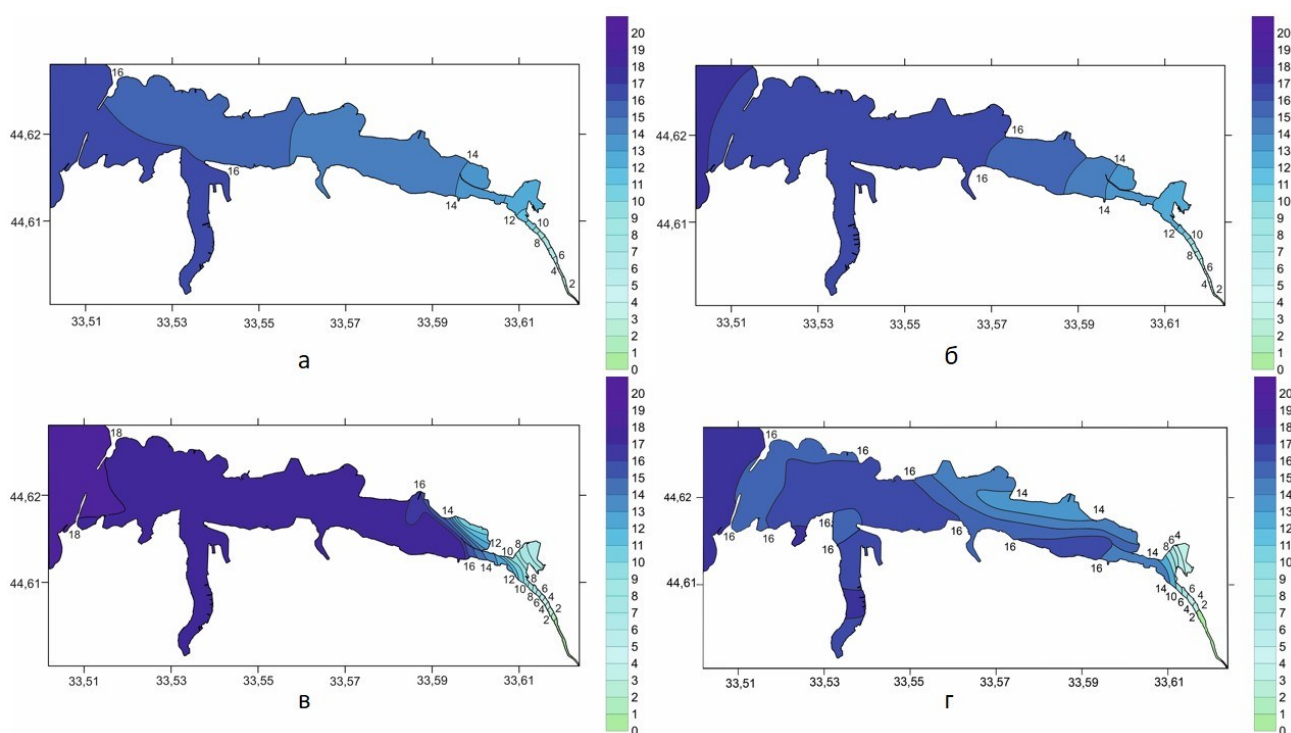
**Рисунок 5.** Среднее многолетнее распределение солености поверхностного слоя воды устьевое взморья р. Черной в 1996–2009 гг. (а) и в 2010–2023 гг. (б)

**Figure 5.** The average long-term salinity distribution of the surface water layer at the estuary of the Chernaya River in 1996–2009 (a) and in 2010–2023 (b)

Поскольку для устьев рек водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы устанавливаются такими же, как и для рек (100 и 50 м соответственно)<sup>7</sup>, естественно затапливаемая пойма р. Черной (шириною около 1 км) застроена. Это обстоятельство делает ее уязвимой при форс-мажорных обстоятельствах, которые не исключены при недостаточной подготовке емкости водохранилища к приему паводка, ее переполнению и необходимости аварийных сбросов. В этих случаях может отмечаться затопление территорий и ущербы.

В последние 30 лет, повторяемость распреснения всей Севастопольской бухты, зафиксированного при выполнении

океанографических съёмок, составила 25 %, а ее восточной части – 50 %. На р. Черной у с. Хмельницкое в 28 % случаев наблюдались существенные паводки (30 и более м<sup>3</sup>/с), превышающие их среднее многолетнее значение. Однако сведений о масштабном затоплении Инкерманской долины до 2024 г. не обнаружено. В отдельные годы отмечались локальные затопления в районе вдольбереговой трассы (июль 2015 г.), но чаще наблюдались затопления и подтопления, вызванные ливневыми осадками, а не паводком. Например, 17.07.2018 и 18.06.2021 расход воды составил 36,4 м<sup>3</sup>/с, однако сведений о затоплении низовья р. Черной не обнаружено.



**Рисунок 6.** Влияние паводков р. Черной на устьевое взморье в 1998–2022 гг.:

а) 10.06.1998; б) 20.01.2003; в) 02–04.02.2015; г) 10–11.02.2022

**Figure 6.** Impact of the Chernaya River floods on the estuary coast in 1998–2022.:

а) June 10, 1998; б) January 20, 2003; в) February 2–4, 2015; д) February 10–11, 2022

В последний период (2010–2023 гг.), по сравнению с предыдущим, регулирование стока р. Черной изменилось, что, возможно, связано с возрастающими потребностями в воде г. Севастополя из-за роста населения, наметившиеся с 2014 г. [Миньковская, 2020; Наривончик и др.,

2022], необходимостью резервирования стока в Чернореченском водохранилище в многоводные годы и лимитирования водопотребления в периоды дефицита водных ресурсов.

Анализ влияния паводков на устьевое взморье в разные годы (рисунок б) показал, что при

<sup>7</sup> Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 08.08.2024, с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_60683/?ysclid=m0xxeo2cir80640000](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/?ysclid=m0xxeo2cir80640000) (дата обращения: 11.09.2024).

прочих равных условиях (слабоветрии и отсутствии осадков на поверхность Севастопольской бухты), чем больше сток р. Черной, тем больше зона распреснения устьевого взморья. Этот вывод согласуется с результатами моделирования влияния речного стока на бухту [Иванов и др., 2003].

В июне 1998 г. распреснение устьевого взморья было сформировано существенными попусками из Чернореченского водохранилища (в пределах 17,8–61,5 м<sup>3</sup>/с), отмечавшимися с октября 1997 г. по июнь 1998 г., продолжительным половодьем и ливневыми осадками в начале июня 1998 г. В период съемки (рисунок 6а) расход воды р. Черной составлял 10–17 м<sup>3</sup>/с.

Зимняя оттепель и осадки вызвали паводок в январе 2003 г., и сбросы в нижний бьеф водохранилища обусловили средний суточный расход воды р. Черной на г/п Хмельницкое 2–5 м<sup>3</sup>/с. В результате площадь распреснения Севастопольской бухты уменьшилась примерно в 2 раза (рисунок 6б).

02–04.02.2015 расход воды р. Черной тоже составлял 2–5 м<sup>3</sup>/с, но при этом отмечался южный и юго-западный ветер 4 м/с. Поэтому, несмотря на близкий по значениям сток реки, область распреснения сместилась в северную часть бухты и была несколько меньше, чем в предыдущем случае (рисунки 6б и 6в).

Значительное распреснение акватории устьевого взморья отмечалось в период съемки 10–11.02.2022 при расходе воды на г/п Хмельницкое 10–15 м<sup>3</sup>/с, юго-западном и южном ветре (3 м/с). Чернореченское водохранилище к началу сбросов было наполнено, выпавшие осадки и потепление привели к дополнительному притоку в него талой и дождевой воды, что вызвало аварийный сброс её излишков в нижний бьеф и техногенный паводок, усиленный боковой приточностью ниже гидроузла водохранилища.

Представленные на рисунке 6 распределения солёности поверхностного слоя воды отражают степень влияния природно-антропогенных паводков на устьевое взморье р. Черной в зависимости от расхода воды на г/п

Хмельницкое (рисунок 1). При этом все рассмотренные паводки в период съемок не достигали среднего многолетнего значения (20,7 м<sup>3</sup>/с).

Особый случай наблюдался в январе 2024 г. (рисунок 7). По данным Федерального государственного бюджетного учреждения «Крымское управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»<sup>8</sup> паводку предшествовало выпадение жидких осадков (74 мм) в области питания реки поверх слоя снежного покрова толщиной 17 см. В результате потепления тало-дождевой сток сформировал паводок в верховьях р. Черной, с пиком 19.01.2024. При этом уровень воды выше Чернореченского водохранилища поднялся всего на 70 см, а на г/п Хмельницкое отмечался резкий подъем уровня воды на 168 см. Одновременно наблюдались паводки на притоках р. Черной ниже гидроузла (Сухой речке, Байдарке, Ай-Тодорке), сбросы из переполненных прудов, сточных вод и смыв с берега.

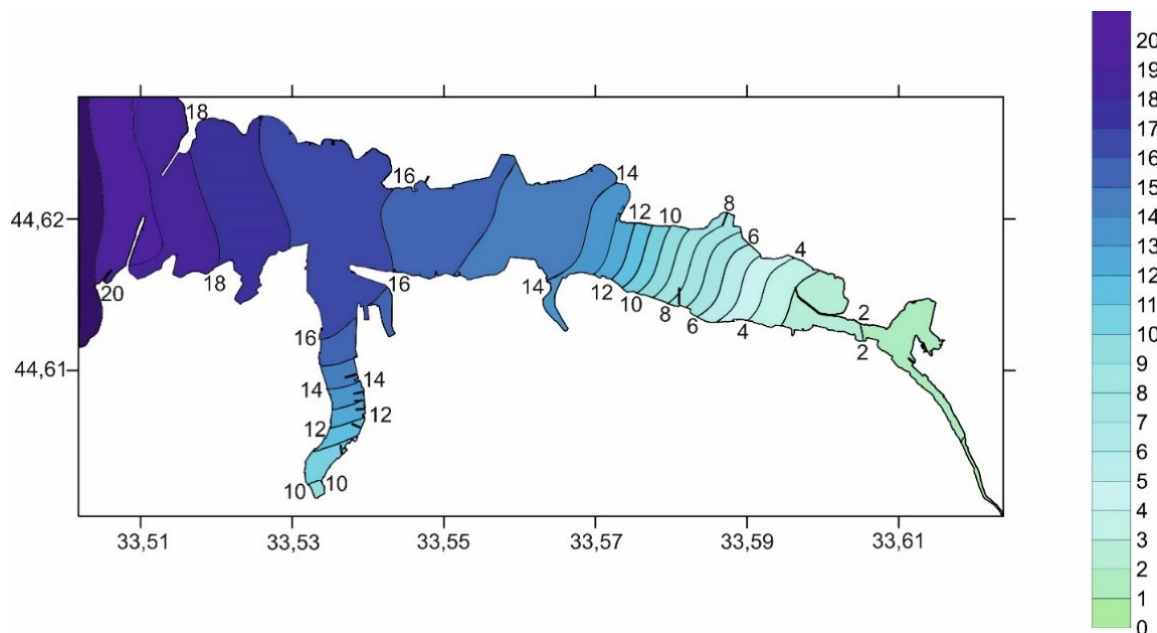
Поскольку в 2010–2023 гг. чаще отмечался сток р. Черной ниже нормы, к приему паводка подготовка емкости водохранилища, заполненного уже в декабре 2023 г. на 93 %, зимой 2024 г. была недостаточной. По данным государственного унитарного предприятия города Севастополя «Водоканал» объем водохранилища перед паводком составлял 98 %, а 21–23.01.2024 он увеличился до 102–103 %, хотя для безопасной работы этого водохранилища, в соответствии с [Волосухин, 2019], его объем перед паводком должен был составлять около 70 %. Аварийные сбросы и искусственное сооружение, уменьшившее пропускную способность русла в нижнем бьефе (рисунок 2), были основной причиной повышенного стока в низовье реки и затопления поймы (рисунок 3), что принесло существенный ущерб экономике региона.

В период экспедиционных исследований 19–23.01.2024, выполненных МГИ РАН и СО ГОИН на спаде паводка, впервые удалось получить картину распреснения поверхностного слоя воды устьевого взморья в результате влияния речного стока, превышающего его среднее

<sup>8</sup> ForPost новости Севастополя [Электронный ресурс]. URL: <https://sevastopol.su/news/krymskiy-gidrolog-nazvala-vnyatnye-prichiny-nebyvalogo-navodneniya-v-sevastopole#> (дата обращения: 11.09.2024).

многолетнее значение на г/п Хмельницкое в 10–20 раз (рисунок 7). При этом преобладал восточный ветер (1–2 м/с), без осадков,

температура воздуха изменялась в пределах  $-2,3$ – $3,0$  °С.



**Рисунок 7.** Распределение солености поверхностного слоя воды устьевого взморья р. Черной 23.01.2024

**Figure 7.** Distribution of the water salinity in the surface layer of the estuarine coast of the Chernaya River on January 23, 2024

Расход воды 19–23.01.2024 уменьшался с 36 до 22 м<sup>3</sup>/с. Его распределяющее влияние было существенным: устьевой участок реки и «Инкерманский лиман» (рисунок 1) были заполнены водой, соленостью 1–2 ‰, восточная часть Севастопольской бухты опреснилась до 10 ‰, а в ее западную часть из моря поступала вода соленостью 18 ‰. Сточными и подземными водами также была распределена бухта Южная (рисунок 7).

### Выводы

Природно-техногенные паводки на р. Черной представляют опасность для экономики Севастопольского региона, но остаются недостаточно изученными. Впервые за последние 30 лет исследовано влияние аварийных сбросов из Чернореченского водохранилища на устьевое взморье реки зимой 2024 г.

Средний расход воды в вершину устья р. Черной в период паводка 19–23.01.2024 составлял 28 м<sup>3</sup>/с, максимальный достигал 36 м<sup>3</sup>/с, при этом средний многолетний расход

воды на г/п Хмельницкое за 1991–2023 гг. был равен 1,73 м<sup>3</sup>/с. За 5 дней в Севастопольскую бухту в среднем поступало около 12 млн м<sup>3</sup> воды, что составило 19 % от объема Чернореченского водохранилища и 15 % от объема Севастопольской бухты.

В результате паводка в январе 2024 г. кутловая часть Севастопольской бухты распределась до 3 ‰, при среднем значении солености поверхностного слоя воды в этом районе 17,4 ‰, зона опреснения занимала 80 % устьевого взморья, горизонтальные градиенты солености воды достигали 2–6 ‰ на км, а из прилегающей части моря в бухту поступала вода соленостью 20 ‰.

В условиях отмечающегося в последние 15 лет осолонения устьевого взморья р. Черной при значительных паводках различного генезиса контрастность смешивающихся в Севастопольской бухте разнородных вод возрастает, что увеличивает степень экологической опасности в устьевом регионе.

## Литература

Атлас океанографических характеристик Севастопольской бухты. / Под. ред. Иванова В.А. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. 320 с. ISBN: 978-966-02-5666-8.

Волосухин Я.В. Безопасность комплекса гидротехнических сооружений Чернореченского водохранилища в г. Севастополе // Строительство и архитектура. 2019. Т. 7. № 3. С. 13–18. DOI: 10.29039/2308-0191-2019-7-3-13-18.

Гидрометеорологические условия морей Украины в 2 т. Том 2: Черное море / Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.Н., Дьяков Н.Н., Кубряков А.А., Станичный С.В. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. 421 с.

Данилов-Данильян В.И., Козлова М.А., Полянин В.О., Чеснокова И.В. Научное обеспечение водной безопасности Крыма: проблемы и решения // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 4. С. 363–371. DOI: 10.31857/S0321059622040022.

Дегтерев А.Х. Заполняемость водохранилищ Крыма в период перекрытия Северо-Крымского канала. Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет», 2022. 70 с. ISBN 978-5-6048340-7-7.

Ермакова Г.С., Горелиц О.В., Жбаков К.К., Землянов И.В., Милютин И.Ю. Экстремальные паводки на реках Крыма в 2021 году // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 4. С. 460–473. DOI: 10.31857/S0321059622040046.

Ефимов В.В., Анисимов А.Е., Комаровская О.И. Характеристики экстремальных атмосферных осадков в Крыму // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 2. С. 6–18. DOI: 10.22449/2413-5577-2022-2-6-18.

Иванов В.А., Михайлова Э.Н., Репетин Л.Н., Шапиро Н.Б. Модель Севастопольской бухты. Воспроизведение вертикальной структуры полей температуры и солености в 1997–1999 годах // Морской гидрофизический журнал. 2003. № 4. С. 15–35.

Куфтаркова Е.А., Губанов В.И., Ковригина Н.П., Еремин И.Ю., Сеничева М.И. Экологическая

## References

*Atlas okeanograficheskikh kharakteristik Sevastopolskoy bukhty [Atlas of oceanographic characteristics of Sevastopol Bay]*. Ed. V.A. Ivanov. Sevastopol, EKOSI-Gidrofizika Publ., 2010. 320 p. ISBN: 978-966-02-5666-8. (In Russian).

Danilov-Danilyan V.I., Kozlova M.A., Polyanin V.O., Chesnokova I.V. The scientific basis of water safety of crimea: problems and solutions. *Water resources*, 2022, vol. 49, no. 4, pp. 525–532. DOI: 10.1134/S0097807822040029.

Degterev A.KH. *Zapolnyayemost vodokhranilishch Kryma v period perekrytiya Severo-Krymskogo kanala. [The occupancy rate of Crimean reservoirs during the closure of the North Crimean Canal]*. Sevastopol, Federalnoye gosudarstvennoye avtonomnoye obrazovatelnoye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya "Sevastopolskiy gosudarstvennyy universitet" Publ., 2022. 70 p. ISBN 978-5-6048340-7-7. (In Russian).

Efimov V.V., Anisimov A.E., Komarovskaya O.I. *Kharakteristiki ekstremalnykh atmosferykh osadkov v Krymu [Characteristics of extreme precipitation in crimea]. Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon morya [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea]*, 2022, no. 2, pp. 6–18. DOI: 10.22449/2413-5577-2022-2-6-18. (In Russian; abstract in English).

Ermakova G.S., Gorelits O.V., Zhbakov K.K., Zemlyanov I.V., Milyutina I.Yu. Extreme floods in Crimean rivers in 2021. *Water Resources*, 2022, vol. 49, no. 4, pp. 616–629. DOI: 10.1134/S0097807822040042.

Ilyin Y.P., Repetin L.N., Belokopytov V.N., Goryachkin Y.N., Dyakov N.N., Kubryakov A.A., Stanichny S.V. *Gidrometeorologicheskie usloviya morei Ukrainy v 2 tomakh. Tom 2: Chernoe more [Hydrometeorological conditions of the seas of Ukraine in 2 volumes. Volume 2: Black Sea]*. Sevastopol, EKOSI-Gidrofizika Publ., 2012. 421 p. (In Russian).

Ivanov V.A., Mikhailova E.N., Repetin L.N., Shapiro N.B. A model of the sevastopol'skaya bay. Reproduction of the vertical structure of temperature and salinity fields in 1997-1999. *Physical Oceanography*, 2003, vol. 13, no. 4, pp. 201–222.

- оценка современного состояния вод в районе взаимодействия Севастопольской бухты с прилегающей частью моря // Морской экологический журнал. 2006. Т. 5. № 1. С. 72–91.
- Лучшева А.А. Практическая гидрометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 424 с.
- Малахова Л.В., Проскурнин В.Ю., Егоров В.Н., Чужикова-Проскурнина О.Д., Бобко Н.И. Микроэлементы в воде реки Черной и оценка их поступления с речным потоком в Севастопольскую бухту в зимний сезон 2020 года // Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон моря. 2020. № 3. С. 77–94. DOI: 10.22449/2413-5577-2020-3-77-94.
- Миньковская Р.Я. Районирование морских устьев рек по изменчивости солёности воды // Метеорология и гидрология. 2015. № 9. С. 76–88.
- Миньковская Р.Я., Демидов А.Н. Эволюция морского устья реки Черной (Севастопольский регион) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2016. № 1. С. 82–89.
- Миньковская Р.Я. Комплексные исследования разнотипных морских устьев рек (на примере морских устьев рек северо-западной части Чёрного моря). Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ РАН, 2020. 364 с. DOI: 10.22449/978-5-6043409-2-9.
- Михайлова Э.Н., Шапиро Н.Б. Моделирование циркуляции и пространственной структуры термохалинных полей в Севастопольской бухте с учетом реальных внешних данных (зима 1997 г.) // Морской гидрофизический журнал. 2005. № 2. С. 60–76.
- Мырза Е.Л., Овчарук В.А. Анализ условий формирования паводков холодного периода на реках Крымских гор // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 1. С. 740–745.
- Наривончик С.В., Миньковская Р.Я., Дьяков Н.Н., Мальченко Ю.А., Щербаченко С.В. Изменчивость солёности воды устьевого взморья реки Черной (Севастопольский регион) в современный климатический период // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2022. Т. 4. № 4. С. 359–380. DOI: 10.34753/HS.2022.4.4.359.
- Овсяный Е.И., Артеменко В.М., Романов А.С., Орехова Н.А. Сток реки Черной как фактор Khlebovich V.V. *Kriticheskaya solenost biologicheskikh protsessov* [Critical salinity of biological processes]. Leningrad, the Science Publ., 1974. 231 p. (In Russian).
- Kuftarkova E.A., Gubanov V.I., Kovrigina N.P., Eremin I.Y., Senicheva M.I. *Ekologicheskaya otsenka sovremennogo sostoyaniya vod v rayone vzaimodeystviya Sevastopolskoy bukhty s prilegayushchey chastyu morya* [Ecological assessment of the current state of waters in the area of interaction of Sevastopol Bay with the adjacent part of the sea]. *Morskoy ekologicheskiy zhurnal* [Marine Environmental Journal], 2006, vol. 5. no. 1, pp. 72–91. (In Russian).
- Luchsheva A.A. *Prakticheskaya gidrometriya* [Practical hydrometry]. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1983. 424 p. (In Russian).
- Malakhova L.V., Proskurnin V.Yu., Egorov V.N., Chuzhikova-Proskurnina O.D., Bobko N.I. *Mikroelementy v vode reki Chernoy i otsenka ikh postupleniya s rechnym potokom v Sevastopolskuyu bukhtu v zimniy sezon 2020 goda* [Trace elements in the chernaya river water and evaluation of their income with the riverine inflow into the sevastopol bay in winter 2020]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnykh i shelfovykh zon morya* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea], 2020, no. 3, pp. 77–94. DOI: 10.22449/2413-5577-2020-3-77-94. (In Russian; abstract in English).
- Mikhailova É.N., Shapiro N.B. Simulation of the circulation and space structure of thermohaline fields in the sevastopol bay with regard for the actual external data (winter, 1997). *Physical Oceanography*, 2005, vol. 15, no. 2, pp. 118–132. DOI: 10.1007/s11110-005-0035-0.
- Minkovskaya R.Ya. *Rayonirovaniye morskikh ustyev rek po izmenchivosti solenosti vody* [Zoning of sea estuaries by variability of salinity of water]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 2015, no. 9, pp. 76–88. (In Russian).
- Minkovskaya R.Ya., Demidov A.N. *Evolyutsiya morskogo ustya reki Chernoy (Sevastopolskiy region)* [Evolution of marine mouth of the Chernaya river (Sevastopol region)]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon morya* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea], 2016, no 1, pp. 82–89. (In Russian).

формирования водно-солевого режима и экологического состояния Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2007. № 15. С. 57–65.

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.

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. № 1. С. 766–770.

Орехова Н.А., Коновалов С.К. Кислород и сульфиды в донных отложениях прибрежных районов Севастопольского региона Крыма // Океанология. 2018. Т. 58. № 5. С. 739–750. DOI: 10.1134/S0030157418050106.

Орехова Н.А., Медведев Е.В., Овсяный Е.И. Влияние вод реки Черной на гидрохимический режим Севастопольской бухты (Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 3. С. 84–91. DOI: 10.22449/2413-5577-2018-3-84-91.

Репетин Л.Н., Гордина А.Д., Павлова Е.В., Романов А.С., Овсяный Е.И. Влияние океанографических факторов на экологическое состояние Севастопольской бухты (Черное море) // Морской гидрофизический журнал. 2003. № 2. С. 66–80.

Ресурсы поверхностных вод СССР: в 20 т. Т.6. Украина и Молдавия. Вып. 1. Крым / Под ред. М.М. Айзенберга, М.С. Каганера. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 344 с.

Слепчук К.А., Совга Е.Е. Уровень эвтрофирования восточного района Севастопольской бухты по результатам численного моделирования индекса E-TRIX // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 2. С. 53–59. DOI: 10.22449/2413-5577-2018-2-53-59.

Совга Е.Е., Хмара Т.В. Влияние стока реки Черной в период паводка и межени на экологическое состояние кутовой части акватории Севастопольской бухты // Морской

Minkovskaya R.Ya. *Kompleksnyye issledovaniya raznotipnykh morskikh ustyev rek (na primere morskikh ustyev rek severo-zapadnoy chasti Chernogo morya)* [Comprehensive studies of different types of river mouths (on the example of the river mouths in the north-western part of the Black Sea)]. Sevastopol, Publ. of Marine Hydrophysical Institute, 2020. 364 p. DOI: 10.22449/978-5-6043409-2-9. (In Russian; abstract in English).

Myrza E.L., Ovcharuk V.A. Analiz usloviy formirovaniya pavodkov kholodnogo perioda na rekakh Krymskikh gor [Analysis of conditions for the formation of cold period floods on the rivers of the Crimean Mountains]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and ecogeodynamics of regions], 2014, vol. 10, no. 1, pp.740–745. (In Russian).

Narivonchik S.V., Minkovskaya R.Ya., Dyakov N.N., Malchenko Yu.A., Shcherbachenko S.V. Izmenchivost solenosti vody ustyevogo vzmorya reki Chernoy (Sevastopolskiy region) v sovremennyy klimaticheskiy period [Variability of the water salinity at the estuary of the chernaya river (sevastopol region) in the modern climatic period]. *Gidrosfera. Opasnyye protsessy i yavleniya* [Hydrosphere. Hazard processes and phenomena], 2022, vol. 4, no. 4, pp. 359–380. DOI: 10.34753/HS.2022.4.4.359. (In Russian; abstract in English).

Orekhova N.A., Konovalov S.K. Oxygen and sulfides in bottom sediments of the coastal sevastopol region of crimea. *Oceanology*, 2018, vol. 58, no. 5, pp. 679–688. DOI: 10.1134/S0001437018050107.

Orekhova N.A., Medvedev E.V., Ovsyany E.I. Vliyaniye vod reki Chernoy na gidrokhimicheskiy rezhim Sevastopolskoy bukhty (Chernoye more) [The influence of the waters of the Chernaya River on the hydrochemical regime of the Sevastopol Bay (Black Sea)]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon morya* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea], 2018, no. 3, pp. 84–91. DOI: 10.22449/2413-5577-2018-3-84-91. (In Russian).

Ovcharuk V.A., Todorova E.I. Statisticheskiye parametry maksimalnykh raskhodov vody i sloyev pavodochnogo stoka dlya rek gornogo Kryma [Statistical parameters of maximum water flow and flood runoff layers for the rivers of the mountainous Crimea]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*

гидрофизический журнал. 2020. Т. 36. № 1. С. 31–40. DOI: 10.22449/0233-7584-2020-1-31-40.

Хлебович В.В. Критическая соленость биологических процессов. Л.: Наука, 1974. 231 с.

Ястреб В.П., Хмара Т.В. Соленость вод как условие существования экосистем открытых лиманов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2007. № 15. С. 347–358.

Ecological State of the Water Area in the Fresh Water - Saline Water Mixing Zone in Spring (the River Chernaya Estuary - Sevastopol Bay, Black Sea) / Tikhonova E., Burdiyan N., Soloveva O., Mironov O., Guseva E., Kotelyanets E., Gurov K. // Pollution. 2022. Vol. 8. No. 2. P. 693–703. DOI: 10.22059/POLL.2022.334733.1271.

[*Geopolitics and ecogeodynamics of regions*], 2014. vol. 10, no. 1, pp. 766–770.

Ovsiyany E.I., Artemenko V.M., Romanov A.S., Orekhova N.A. Stok reki Chernoy kak faktor formirovaniya vodno-solevogo rezhima i ekologicheskogo sostoyaniya Sevastopolskoy bukhty [The flow of the Chernaya River as a factor in the formation of the water-salt regime and the ecological state of the Sevastopol Bay]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon i kompleksnoye ispolzovaniye resursov shelfa* [Environmental safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources] 2007. no. 15, pp. 57–65. (In Russian).

Ovsiyany E.I., Orekhova N.A. Hydrochemical regime of the river chernaya (Crimea): environmental aspects. *Physical Oceanography*, 2018. vol. 25, no. 1, pp. 77–89. DOI: 10.22449/1573-160X-2018-1-77-88.

Repetin L.N., Gordina A.D., Pavlova E.V., Romanov A.S., Ovsiyany E.I. Vliyaniye okeanograficheskikh faktorov na ekologicheskoye sostoyaniye Sevastopolskoy bukhty (Chernoye more) [The influence of oceanographic factors on the ecological state of Sevastopol Bay (Black Sea)]. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal* [Marine Hydrophysical Journal], 2003, no. 2, pp. 66–80.

*Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: v 20 t. T.6. Ukraina i Moldaviya. Vyp. 1. Krym* [Surface water resources of the USSR: in 20 vol. Vol.6. Ukraine and Moldova. Issue 1. Crimea]. Ed. M.M. Ayzemberga, M.S. Kaganera. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1966. 344 p. (In Russian).

Slepchuk K.A., Sovga YE.E. Uroven evtrofirvaniya vostochnogo rayona Sevastopolskoy bukhty po rezultatam chislennogo modelirovaniya indeksa E-TRIX [Eutrophication level of the eastern part of the sevastopol bay on the basis of numerical modeling of e-trix index]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon morya* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea], 2018, no. 2, pp. 53–59. DOI: 10.22449/2413-5577-2018-2-53-59. (In Russian).

Sovga E.E., Khmara T.V. Influence of the Chernaya river runoff during high and low water on the ecological state of the apex of the sevastopol bay water area. *Physical Oceanography*, 2020, vol. 27, no. 1, pp. 28–36. DOI: 10.22449/1573-160X-2020-1-28-36.

Tikhonova E, Burdiyan N., Soloveva O., Mironov O., Guseva E., Kotelyanets E., Gurov K. Ecological State of the Water Area in the Fresh Water - Saline Water Mixing Zone in Spring (the River Chernaya Estuary - Sevastopol Bay, Black Sea). *Pollution*, 2022, vol. 8, no. 2, pp. 693–703. DOI: 10.22059/POLL.2022.334733.1271.

Volosukhin Ya.V. Bezopasnost kompleksa gidrotekhnicheskikh sooruzheniy Chernorechenskogo vodokhranilishcha v g. Sevastopole [Safety of complex of hydraulic structures of chernorechenskiy reservoir in Sevastopol]. *Stroitelstvo i arkhitektura [Construction and Architecture]*, 2019, vol. 7, no. 3, pp. 13–18. DOI: 10.29039/2308-0191-2019-7-3-13-18. (In Russian).

Yastreb V.P., Khmara T.V. Solenost vod kak usloviye sushchestvovaniya ekosistem otkrytykh limanov [Salinity of waters as a condition for the existence of ecosystems of open estuaries]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon i kompleksnoye ispolzovaniye resursov shelfa [Environmental safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources]*, 2007, no. 15, pp. 347–358. (In Russian).