

УДК 551.465 (262.5)

С.С. Мухаметов¹, С.И. Кондратьев²**ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ВОДАХ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ В ФЕВРАЛЕ 2015 г.**

Балаклавская бухта по природно-климатическим условиям является уникальным участком не только Южного Берега Крыма, но и всего Черного моря. В феврале 2015 г. были проведены гидролого-гидрохимические съемки Севастопольской и Балаклавской бухт, проходившие во время и сразу после выпадения чрезвычайно большого количества осадков. Для всех биогенных элементов (фосфатов, неорганических форм азота, кремниевой кислоты), элементов карбонатной системы (общей щелочности, TCO_2) обнаружено максимальное содержание в поверхностных водах за все годы исследований.

Ключевые слова: океанологические исследования, гидрохимия, экстремальные концентрации, прибрежные воды.

Введение. Балаклавская бухта, расположенная в южной части Крымского полуострова между м. Фиолент и м. Айя, представляет собой узкую (шириной до 240 м), ориентированную в меридиональном направлении акваторию эстуарного типа, протяженностью 1,4 км, и глубинами от 4 м в кутовой части до 34 м на входном створе. Площадь водной поверхности составляет 236 тыс. м², объем водной массы 2840 тыс. м³, средняя глубина 12,5 м. Площадь водного зеркала 236 тыс. м², 47% площади бухты расположено над глубинами 4–12 м [Ломакин, 2013].

Балаклавская бухта по природно-климатическим условиям является уникальным участком не только Южного Берега Крыма, но и всего Черного моря. Само название Балаклава (по одной из версий оно произошло от турецкого «baliqlı ava» – «рыбная погода») объясняет, почему с незапамятных времен бухта использовалась прежде всего для рыболовства и мореплавания, а в начале XX века стала развиваться и как курорт.

Географическое положение и морфометрические характеристики бухты привлекали внимание не только рыбаков и туристов. В 1961 г. бухта была превращена в секретную базу подводного флота СССР на Черном море, для чего в отроге горы Таврос пробили канал длиной 608 м, шириной от 10 до 24 м и глубиной 8 м, общая площадь подземной базы составляла около 15 тыс. м² [Ломакин, 2013]. В 90-е годы прошлого столетия в связи с развалом Советского Союза и изменением геополитики военный комплекс был закрыт и переоборудован в музей.

Ранние океанографические исследования акватории Балаклавской бухты были посвящены в основном морфометрии, выполненной несколько раз за 200 лет, начиная с 1811 г. Во время существования военно-морской базы было невозможно какое-либо изучение акватории бухты с публикацией результатов в открытой печати. После закрытия военного комплекса научные исследования возобновились, и оказалось, что техногенный пресс на экосистему бухты, который оказывал подводный флот, уменьшился, но не

исчез полностью, а превратился в рекреационно-антропогенный. При этом объемы бытовых и промышленных стоков, ливневой канализации, смыва с полей в речку Балаклавку, утечек нефтепродуктов с судов и т. д., могут резко усилиться в связи с предполагаемым развитием здесь туристического комплекса.

На основании комплексных экологических съемок, начавшихся на акватории бухты в 90-х годах прошлого века, был опубликован ряд работ [Куфтаркова, 1995, 1999; Миронов, 1999; Ациховская, 2000], в которых в частности было показано, что концентрации элементов главного биогенного цикла в водах бухты за период 1991–2001 гг., уменьшились в среднем в 3 раза, однако возникший уровень концентраций биогенных веществ примерно на порядок превышает средние значения, характерные для открытых частей Черного моря [Ковригина, 2003].

Дальнейшие исследования экологического состояния вод Балаклавской бухты [Мезенцева, 2003; Попов, 2005, 2008; Боровская, 2009; Ковригина, 2010; Овсяный, 2010; Ломакин, 2010, 2011], дополненные данными по динамике вод залива Мегало-Яло (простирающегося от м. Фиолент до м. Айя) [Попов, 2006; Ломакин, 2010], были объединены в монографию [Ломакин, 2013].

В феврале 2015 г. в рамках зимней практики студентов кафедры океанологии географического факультета МГУ совместно с отделом биогеохимии моря Морского гидрофизического института РАН были проведены гидролого-гидрохимические съемки Севастопольской и Балаклавской бухт. Исследования проводились во время и сразу после выпадения чрезвычайно большого количества осадков, что должно было заметно отразиться на распределении гидрохимических характеристик в водной толще. Отклонения от привычных пространственных распределений гидрохимических параметров в Севастопольской бухте были столь велики, что рассматривались в отдельной статье [Мухаметов, Кондратьев, 2017]. Полагая, что и в Балаклавской бухте

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, ст. преподаватель; e-mail: puffin@bk.ru

² Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, отдел биогеохимии моря, ст. науч. с., канд. хим. наук.; e-mail: skondratt@mail.ru

должна была наблюдаться аналогичная картина, мы поставили задачей данной статьи выявление особенностей распределения гидрохимических параметров в поверхностном слое вод Балаклавской бухты в результате поступления на акваторию значительного количества дождевых осадков.

Материалы и методы исследований. Экологический мониторинг Балаклавской бухты был выполнен 5 февраля 2015 г. на НИС УКС 0678 КПМ 260 «Листригон». Схема расположения гидролого-гидрохимических станций приведена на рис. 1. Инструментальные гидрологические наблюдения с использованием СТД-зонда ГАП-12 выполнялись во всей толще вод. Отбор проб для химических анализов морской воды выполняли: в поверхностном слое пластиковой банкой; на придонном горизонте (0,5–1 м от дна) – пластмассовым батометром вместимостью 5 л.

Вскоре после отбора проб в береговой лаборатории ОБМ МГИ было проанализировано содержание в них следующих компонентов: растворенного кислорода, растворенных форм кремнекислоты, фосфатов, нитритов, нитратов, аммония, величины pH, общей щелочности, общего неорганического углерода (TCO_2). На трех станциях (№ 1, 5 и 10) для двух горизонтов и на ст. 13 только для поверхностного горизонта определялось содержание общего взвешенного вещества и биохимическое потребление кислорода (БПК_5).

Пробы для определения кислорода фиксировались соответствующими реактивами и вместе с остальными пробами воды доставлялись в береговую лабораторию в течение не более трех часов после отбора. В лаборатории пробы для определения общего взвешенного вещества и растворенных форм биогенных элементов фильтровались через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм.

Для химического анализа проб морской воды и донных отложений использовались стандартные методики, применяемые в океанологических исследованиях и рекомендованные МОК ЮНЕСКО [Методы ..., 1978].

Результаты исследований и их обсуждение. Перед обсуждением полученных результатов следует кратко рассмотреть основные источники антропогенного загрязнения, поступающего в Балаклавскую бухту. Гидрохимический режим вод Балаклавской бухты формируется под воздействием гидрометеорологических условий, сгонно-нагонных явлений и антропогенного воздействия. Наиболее загрязнена принимающая сточные и ливневые воды мелководная часть бухты, что в значительной мере обусловлено ограниченным водообменом через основную ее узкость [Куфтаркова, 1999].

Основным источником поступления пресных вод (а вместе с ними и элементов биогенного и карбонатного циклов) в Балаклавскую бухту является впадающий в вершину бухты сезонный водоток – речка Балаклавка с расходом воды для сухого периода года около 197 тыс. м³/год, или около 540 м³/сутки [Зима, 2000]. Однако во время обильных осадков или таяния снега моментальный расход может увеличи-



Рис. 1. Гидролого-гидрохимические станции, выполненные 5 февраля 2015 г. в Балаклавской бухте. Обозначения: жирные точки – пробы воды для определения содержания растворенного кислорода, насыщения вод кислородом, содержания фосфатов, кремнекислоты, нитритов, нитратов, pH, щелочности, общего неорганического углерода; звездочки – дополнительные пробы воды для определения содержания общего взвешенного вещества и величины БПК_5^{20} . На рисунке не обозначена фоновая станция № 13, с координатами 44,48204 N, 33,59585 E, расположенная значительно южнее полигона

Fig. 1. Hydrological-hydrochemical stations in the Balaklava Bay (February 5, 2015). Notation: • water samples to determine the content of dissolved oxygen, saturation of water with oxygen, content of phosphate, silicic acid, nitrites, nitrates, pH, alkalinity, total inorganic carbon. ★ – additional water samples to determine the content of total suspended matter and the BOD_5^{20} value. The figure does not show the background station №13 (44,48204 N, 33,59585 E), located much to the south of the area

ваться на порядок и более, что также характерно и для ливневого стока на восточном берегу бухты. Менее известен расположенный западнее ст. 11 Георгиевский субмаринный источник с расходом около 1500 м³/сутки [Топографическая карта, 1988], водность которого, однако, изменяется в зависимости от погодных условий и сезонных явлений.

По материалам Госуправления по экобезопасности и охране природной среды г. Севастополя, объем поступающих неочищенных сточных вод в бухту составляет 4,4 млн м³/год, из которых 3 млн

м³/год (от 5 до 9 тыс. м³/сутки) поступает у входа в бухту через главный коллектор, причем вследствие аварии коллектора стоки сбрасываются на глубине 10 м. При определенных гидрометеорологических условиях (например, ветрах южной четверти) наблюдается шлейф трансформированных сточных вод от этого коллектора, направленный в бухту [Ациховская, 2003; Ковригина, 2003; Мезенцева, 2003].

Съемка Балаклавской бухты 5 февраля 2015 г. проходила сразу после выпадения в Севастопольском регионе значительного количества осадков во время трехбалльного волнения в открытом море, вызванного действием многодневных устойчивых ветров южных румбов. Схема поверхностных течений, возникающих в Балаклавской бухте при ветрах южной четверти, представлена на рис. 2. Согласно этой схеме, ветровые поверхностные течения должны «запирать» пресноводный сток реки Балаклавки, который также распространяется в основном в поверхностном слое, и в приустьевой части бухты следует ожидать максимального распреснения, что вполне подтверждается данными по распределению солености в поверхностных водах (рис. 3, А). Среднегодовое количество осадков в Балаклавской долине составляет ~400–500 мм/год [Иванов, 2004].

Обнаруженная нами соленость поверхностных вод 13,86‰ в кутовой части бухты оказалась

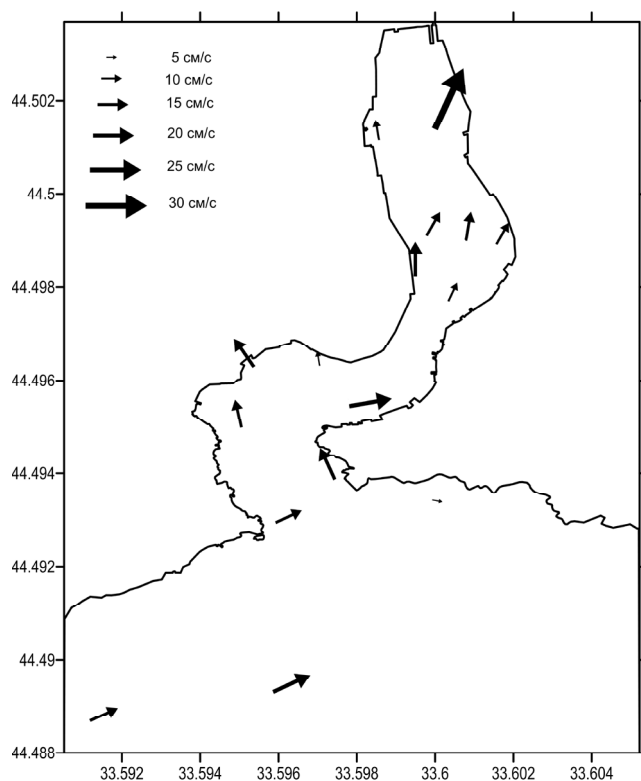


Рис. 2. Схема поверхностных течений в Балаклавской бухте под действием ветров южных румбов [Ломакин, 2013]

Fig. 2. Scheme of surface currents in the Balaklava Bay under the influence of the winds of southern directions [Lomakin, 2013]

меньше солености 14,81–14,85‰, которая отмечается в начале лета и в осенние месяцы года после ливневых дождей, и лишь немного «не дотягивает» до минимума 13,40‰, зафиксированного за последние 25 лет в марте 2004 г. [Ломакин, 2013].

Толщина распресненного поверхностного слоя по меридиональному разрезу через бухту, если его оценивать по расположению изогалины 17‰, в кутовой части бухты составляла 2,5 м, на ст. 2 около 1,5 м, и на ст. 3–4 изогалина 17‰ выходила на поверхность (рис. 3, А).

Содержание кислорода в поверхностных водах кутовой части бухты и приустьевом районе 6,72 мл/л не слишком отличается от значения 6,92 мл/л на фоновой станции, поэтому рисунок распределения концентрации кислорода в поверхностных водах не приводится. А вот уменьшение растворимости кислорода по мере осолонения вод (температура на поверхности всей акватории находилась в пределах 9,04–9,97°C и не слишком влияла на степень насыщения) привело к тому, что степень насыщения вод кислородом в северной части бухты не превышала 92%, тогда как по мере приближения к выходу из бухты она постепенно возрастала до 99% (рис. 3, Б). На фоновой станции зафиксировано 98%-ное насыщение, характерное для вод открытой части моря в зимний период.

Распределение наиболее важных гидрохимических характеристик в поверхностных водах Балаклавской бухты 5 февраля 2015 г. представлено на рисунках: элементов главного биогенного цикла – на рис. 3, В, рис. 4 (А–В); компонентов карбонатной системы – на рис. 5 (А–В). Для всех распределений строго соблюдается общая особенность – содержание любого компонента в кутовой части бухты примерно до широты 44,498°N значительно отличалось от значений на входе в бухту. Для всей акватории бухты характерно заметное уменьшение содержания элемента с глубиной, южнее 44,498°N градиент уменьшения концентраций становился примерно на порядок меньше, но не исчезал даже на выходе из бухты. Как и для Севастопольской бухты, мы не приводим здесь менее интересные придонные распределения исследованных характеристик в придонных водах, которые монотонно уменьшались по мере удаления от устья реки Балаклавки, но не так контрастно, как в поверхностных водах.

Пресноводный сток реки Балаклавки и содержащиеся в нем биогенные элементы оказывают наибольшее влияние на поступление в бухту нитратов – 155 мкМ возле устья и 1,2 мкМ в фоновых водах; нитритов – 1,88 мкМ и 0,00 мкМ; аммония – 40 мкМ и 0,04 мкМ; фосфатов – 2,14 мкМ и 0,05 мкМ соответственно; меньшее влияние оказывает поступление со стоком кремния – 18,8 мкМ возле устья и фоновое 4,1 мкМ. То есть по сравнению с водами открытого моря в кутовой части бухты наблюдалось минимум 40-кратное превышение содержания фосфатов, 100-кратное нитратов и 1000-кратное – аммония.

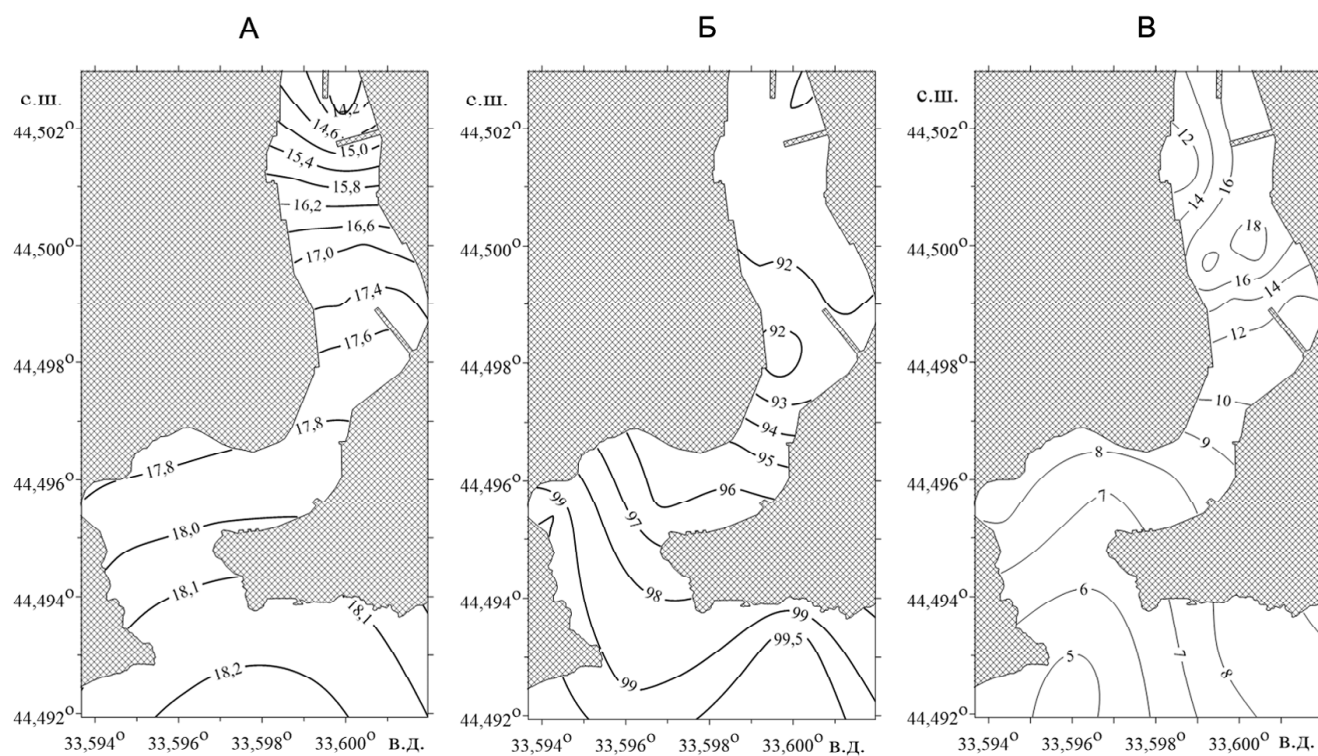


Рис. 3. Соленость, ‰ (А), насыщение вод кислородом, % (Б) и содержание кремнекислоты, мкМ (В) в поверхностных водах Балаклавской бухты в феврале 2015 г.

Fig. 3. Salinity in ‰ (A), oxygen saturation in % (Б) and content of silicic acid in μM (В) in the surface waters of the Balaklava Bay in February 2015

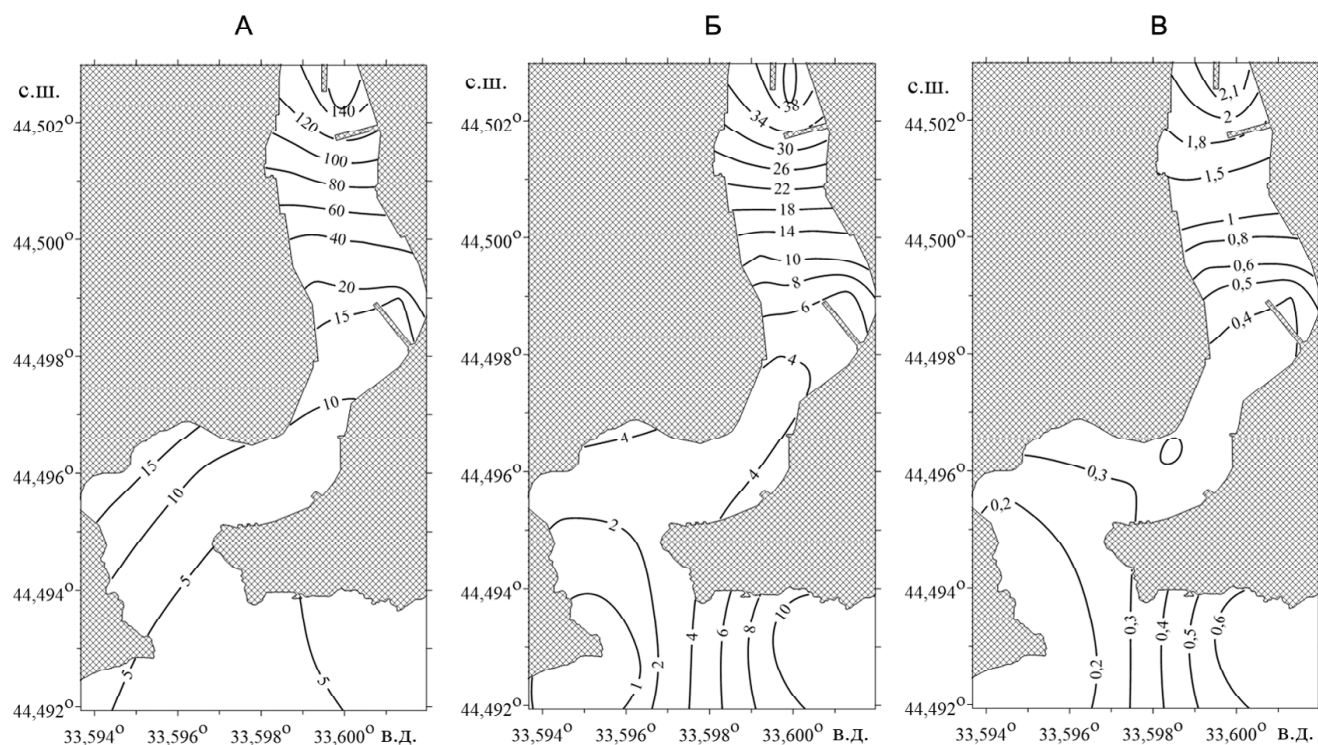


Рис. 4. Содержание нитратов (А), аммония (Б) и фосфатов (В) в мкМ в поверхностных водах Балаклавской бухты в феврале 2015 г.

Fig. 4. Nitrate (А), ammonium (Б) and phosphate (В) concentrations in μM in the surface waters of the Balaklava Bay in February 2015

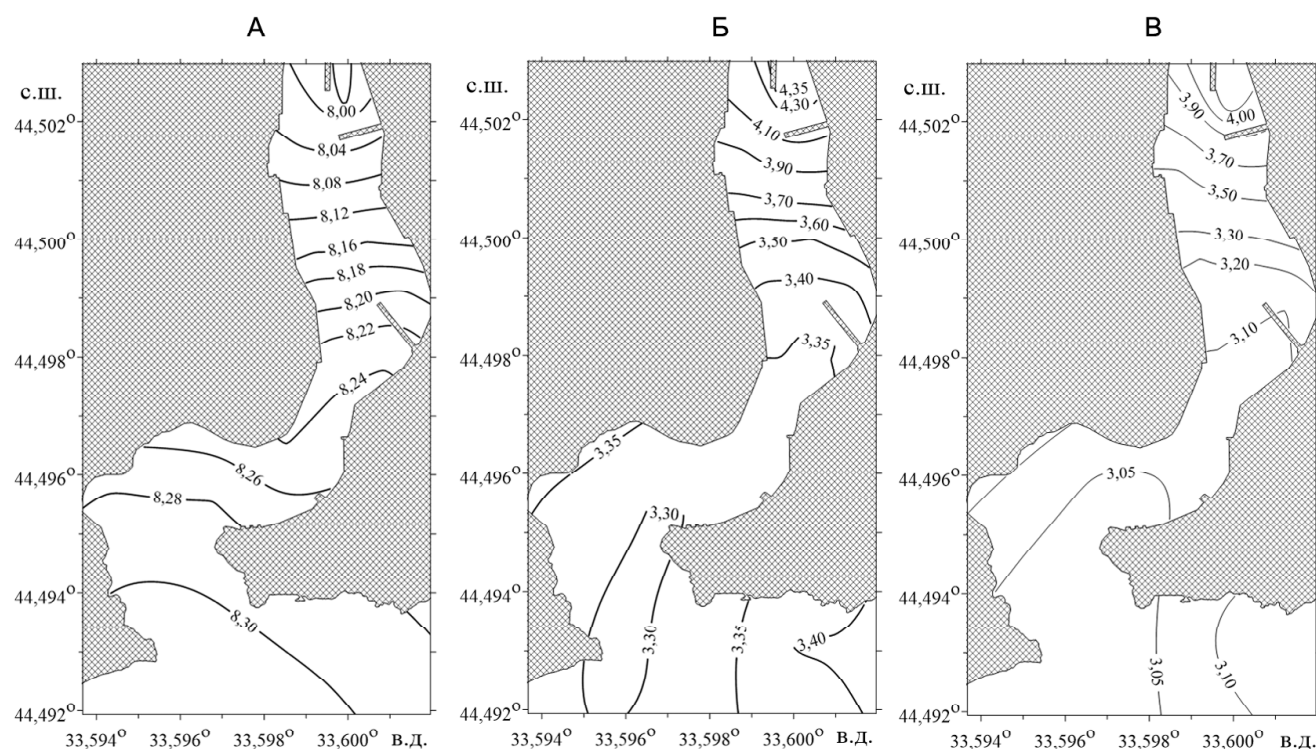


Рис. 5. Величины pH (А), общей щелочности (Б) в мМ и содержание TCO_2 (В) в мМ в поверхностных водах Балаклавской бухты в феврале 2015 г.

Fig. 5. pH (A), total alkalinity (B) and TCO_2 (B) values in mM in the surface waters of the Balaklava Bay in February 2015

Что касается компонентов карбонатной системы, в частности карбонатов и гидрокарбонатов, то их поступление со стоком реки несомненно, но выглядит не столь внушительно, как для биогенных элементов: величина общей щелочности поверхностных вод в кутовой части равна 4,419 мМ, в фоновых водах – 3,296 мМ; содержание TCO_2 – 4,170 мМ и 2,996 мМ соответственно.

Как видно из приведенных данных, в районе выхода сточных вод Балаклавы из главного коллектора в открытое море в поверхностных водах обнаружено несколько повышенное содержание кремнекислоты, аммония, фосфатов, общего неорганического углерода и величины щелочности. В то же время пресноводный сток Георгиевского субмаринного источника (к западу от ст. 11) в условиях штормо-

Экстремальные концентрации гидрохимических параметров в водах Балаклавской бухты по многолетним данным [Ломакин, 2013] и 5 февраля 2015 г.

Показатель	Осадки	Таяние снега	Хозяйственно-бытовой сток	Апвеллинг	Ливневый сток	05.02. 2015 г.	Фоновая станция
Соленость	17,0	13,4	17,2	17,9	—	13,9	18,2
Насыщенность O_2 , % (минимум)	89	89	90	76	—	90	98
SiO_2 , мкМ	12,7	48,8	15,2	11,8	80,0*	18,8	4,1
PO_4 , мкМ	0,65	1,52	2,74	5,81	10,2*	2,14	0,05
NO_2 , мкМ	1,50	1,57	2,14	—	50*	1,88	0,00
NO_3 , мкМ	76,6	98,9	26,4	43,3	—	155,4	1,2
NH_4 , мкМ	2,29	2,93	15,1	—	—	40,36	0,04
pH (минимум)	8,04	7,35	—	8,11	—	7,98	8,33
TCO_2 , мМ	—	—	—	—	—	4,170	2,996
Alk, мМ	—	—	—	—	—	4,419	3,296

* До поступления в бухту.

вой погоды никак не повлиял на распределение солености и гидрохимических элементов в юго-западной части бухты.

Сравнение экстремального содержания гидрохимических параметров в поверхностных водах кутовой части Балаклавской бухты по многолетним данным [Ломакин, 2013] и полученного нами 5 февраля 2015 г. после обильного выпадения дождевых осадков приведено в таблице, там же представлены концентрации нитратов, нитритов, фосфатов, кремнекислоты и др. для фоновой станции.

Для кремнекислоты наиболее существенное повышение концентраций в кутовой части бухты связано с таянием снега, для всех остальных биогенных элементов мы зафиксировали ситуацию с максимальными или близкими к максимальным концентрациями (значение 5,81 мкМ для фосфатов, появляющихся с апвеллинговыми водами, кажется нам несколько завышенным, на вертикальном профиле фосфатов в Черном море до верхней границы сероводородной зоны концентрации не превышают 2–3 мкМ [Еремеева, 1995]).

Выводы:

– повышенный пресноводный сток речки Балаклавки и поступление растворенных веществ с ливневым стоком значительно увеличивает содержание в поверхностных водах кутовой части бухты всех биогенных компонентов (фосфатов, неорганических форм азота, кремнекислоты), элементов карбонатной системы (общей щелочности, TCO_2) и снижает величину pH. Обнаружено максимальное содержание большей части рассмотренных неорганических форм биогенных элементов в поверхностных водах за все годы исследований;

– в условиях штормовой погоды под действием ветра южных румбов распространение пресноводного стока ограничено примерно половиной протяженности бухты: в районе выхода сточных вод Балаклавки из главного коллектора обнаружено несколько повышенное содержание компонентов главного биогенного цикла и карбонатной системы, тогда как пресноводный сток Г. еоргиевского субмаринного источника никак не повлиял на распределение солености и гидрохимических параметров в юго-западной части бухты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ациховская Ж.М., Субботин А.А. Динамика вод Балаклавской бухты и прилегающей акватории Черного моря // Экология моря. 2000. № 50. С. 5–8.

Боровская Р.В., Ломакин П.Д., Попов М.А. Апвеллинг в Балаклавской бухте и прилегающих акваториях Черного моря на базе спутниковых данных // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. Вып. 20. С. 171–178.

Еремеева Л.В., Романов А.С., Овсяный Е.И. и др. Гидрохимические исследования в 33-м рейсе научно-исследовательского судна «Профессор Колесников». Севастополь, 1995. 42 с. (Препринт / НАН Украины. МГИ).

Зима В.В., Шаповалов Ю.И., Щетинин Ю.Т. Результаты опытной эксплуатации автономного гидрозонта МГИ-4117 // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2000. С. 334–338.

Ковригина Н.П., Попов М.А., Лисицкая Е.В., Куфтаркова Е.А., Губанов В.И. Комплексный мониторинг вод Балаклавской бухты (Черное море) в период 2000–2007 гг. // Морской экологический журнал. 2010. № 4. С. 62–75.

Ковригина Н.П., Попов М.А., Лисицкая Е.В., Сеничева М.И., Субботин А.А. Оценка антропогенного воздействия и сгонно-нагонных явлений на экологическое состояние вод Балаклавской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. Вып. 8. С. 105–114.

Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П. О влиянии сбросов сточных вод на гидрохимическую структуру прибрежной зоны моря // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна. Севастополь: МГИ НАНУ, 1995. С. 65–70.

Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П., Родионова Н.Ю. Гидрохимическая характеристика вод Балаклавской бухты и прилегающей к ней прибрежной части Черного моря // Гидробиологический журнал. 1999. Т. 35. № 3. С. 88–99.

Ломакин П.Д., М.А. Попов. Океанологическая характеристика и оценка загрязнения вод Балаклавской бухты. Морской гидрофизический институт НАН Украины. Севастополь, 2013. 188 с.

Ломакин П.Д., Попов М.А. Современное состояние основных компонентов экосистемы Балаклавской бухты по материалам комплексного мониторинга ИнБЮМ НАН Украины // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. 2011. Вып. 1(12). С. 83–95.

Ломакин П.Д., Попов М.А. Структура и сезонная изменчивость термохалинного поля в Балаклавской бухте и прилегающей акватории Черного моря по данным контактных и спутниковых наблюдений // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. Вып. 23. С. 171–179.

Ломакин П.Д., Попов М.А., Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П. Проявление апвеллинга в полях гидрофизических и гидрохимических элементов на акватории Балаклавской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. Вып. 23. С. 180–192.

Мезенцева И.В., Чайкина А.В., Клименко Н.П. Современный уровень загрязнения вод акватории Балаклавской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. Вып. 8. С. 115–118.

Методы гидрохимических исследований океана / Под ред. О.К. Бордовского, В.Н. Иваненкова. М.: Наука, 1978. 272 с.

Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алемов С.В. Комплексные экологические исследования Балаклавской бухты // Экология моря. 1999. № 49. С. 16–20.

Овсяный Е.И., Котельянец Е.А., Орехова Н.А. Мышьяк и тяжелые металлы в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море) // Морской гидрофизический журнал. 2009. № 4. С. 67–80.

Попов М.А. Геоморфологический очерк залива Мегало-Яло и Балаклавской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. Вып. 14. С. 209–214.

Попов М.А., Ковригина Н.П., Лисицкая Е.В. Комплексный мониторинг вод Балаклавской бухты // Основные результаты комплексных исследований в Азово-Черноморском бассейне и Мировом океане (юбилейный выпуск) // Сб. научных трудов. Керчь: ЮгНИРО, 2008. Т. 46. С. 118–124.

Попов М.А., Чепыженко А.И., Еремин И.Ю. Определение концентраций и пространственного распределения загрязняющих веществ в водах Балаклавской бухты гидрооптическими методами в осенний период // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. Вып. 12. С. 202–207.

Топографическая карта. СССР. УССР. Крымская область. Севастополь. Масштаб 1:1 000 000, лист L-36-127. М.: Изд-во Генерального штаба СССР, 1988.

Поступила в редакцию 31.05.2017

Принята к публикации 21.05.2018

S.S. Mukhametov¹, S.I. Kondratyev²

EXTREME VALUES OF HYDROCHEMICAL PARAMETERS IN THE BALAKLAVA BAY WATER IN FEBRUARY 2015

In its natural-climatic features the Balaklava Bay is unique both for the southern shore of Crimea and the Black Sea as a whole. The hydrological and hydrochemical surveys of Sevastopol and Balaklava bays were performed during and immediately after extremely high rainfall events in February 2015. Surface water concentrations of all biogenic elements, such as phosphates, inorganic nitrogen and silicic acid, as well as the carbonate system values (total alkalinity, TCO_2), reached maxima for the whole period of observations.

Key words: oceanological research, hydrochemistry, extreme concentrations, coastal waters.

REFERENCES

Aciovskaya Zh.M., Subbotin A.A. Dinamika vod Balaklavskoj buhty i prilegayushchej akvatorii Chernogo morya [The dynamics of the waters of the Balaklava Bay and the adjacent Black Sea water area] // *Ekologiya morya*. 2000. Vyp. 50. S. 5–8 (in Russian).

Borovskaya R.V., Lomakin P.D., Popov M.A. Apvelling v Balaklavskoj buhte i prilegayushchih akvatoriayah Chernogo morya na baze sputnikovyh dannyh [Upwelling in the Balaklava Bay and adjacent waters of the Black Sea basing on the satellite data] // *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnye issledovaniya resursov shel'fa*. Sevastopol': EHKOSI-Gidrofizika, 2009. Vyp. 20. S. 171–178 (in Russian).

Eremeeva L.V., Romanov A.S., Ovsyanyj E.I. i dr. Gidrohimiicheskie issledovaniya v 33-m rejse nauchno-issledovatel'skogo sudna «Professor Kolesnikov». [Hydrochemical studies during the 33rd voyage of the research vessel «Professor Kolesnikov»]. Sevastopol', 1995. 42 s. (Preprint / NAN Ukrainy. MGI) (in Russian).

Kovrigina N.P., Popov M.A., Lisickaya E.V., Kuftarkova E.A., Gubanov V.I. Kompleksnyj monitoring vod Balaklavskoj buhty (Chernoe more) v period 2000–2007 gg. [Complex monitoring of the waters of the Balaklava Bay (the Black Sea) in the period of 2000–2007] // *Morskoy ehkologicheskij zhurnal*. 2010. № 4. S. 62–75 (in Russian).

Kovrigina N.P., Popov M.A., Lisickaya E.V., Senicheva M.I., Subbotin A.A. Ocenka antropogennogo vozdejstviya i sgonnagonnyh yavlenij na ehkologicheskoe sostoyanie vod Balaklavskoj buhty [Assessment of the anthropogenic impact and overtaking phenomena on the ecological state of waters of the Balaklava Bay] //

Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa. Sevastopol': EHKOSI-Gidrofizika, 2003. Vyp. 8. S. 105–114 (in Russian).

Kuftarkova E.A., Kovrigina N.P. O vliyaniy sbrossov stochnyh vod na gidrohimiicheskuyu strukturu pribrezhnoj zony morya [On the impact of wastewater discharges on the hydrochemical structure of the coastal zone of the sea] // *Issledovaniya shel'fovoj zony Azovo-Chernomorskogo bassejna*. Sevastopol': MGI NANU, 1995. S. 65–70 (in Russian).

Kuftarkova E.A., Kovrigina N.P., Rodionova N.YU. Gidrohimiicheskaya harakteristika vod Balaklavskoj buhty i prilegayushchej k nej pribrezhnoj chasti Chernogo morya [Hydrochemical characteristics of the waters of the Balaklava Bay and the adjacent coastal part of the Black Sea] // *Gidrobiologicheskij zhurnal*. 1999. T. 35. № 3. S. 88–99 (in Russian).

Lomakin P.D., Popov M.A. Sovremennoe sostoyanie osnovnyh komponentov ehkosisistemy Balaklavskoj buhty po materialam kompleksnogo monitoringa InBYUM NAN Ukrainy [The current state of the main components of the ecosystem of the Balaklava Bay basing on the integrated monitoring data of the IBSS of the NAS of Ukraine] // *Vestnik Gidrometcentra Chernogo i Azovskogo morej*. 2011. Vyp. 1(12). S. 83–95 (in Russian).

Lomakin P.D., Popov M.A. Struktura i sezonnaya izmenchivost' termohalinnogo polya v Balaklavskoj buhte i prilegayushchej akvatorii Chernogo morya po dannym kontaktnyh i sputnikovyh nablyudenij [Structure and seasonal variability of the thermohaline field in the Balaklava Bay and the adjacent Black Sea basin according to direct and satellite observations] // *Ekologicheskaya bezopasnost'*

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Oceanology, Senior Lecturer; e-mail: puffin@bk.ru

² Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Department of Marine Biochemistry, Senior Scientific Researcher, PhD. in Chemistry; e-mail: skondratt@mail.ru

pribezchnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa. Sevastopol': EHKOSI-Gidrofizika, 2010. Vyp. 23. S. 171–179 (in Russian).

Lomakin P.D., Popov M.A. Okeanologicheskaya karakteristika i ocenka zagryazneniya vod Balaklavskoj buhty [Oceanological characteristics and assessment of water pollution in the Balaklava Bay] Morskoy gidrofizicheskij institut NAN Ukrainy. Sevastopol', 2013. 188 s. (in Russian).

Lomakin P.D., Popov M.A., Kuftarkova E.A., Kovrigina N.P. Proyavlenie apvellinga v polyah gidrofizicheskikh i gidrohimicheskikh elementov na akvatorii Balaklavskoj buhty [The manifestation of upwelling in the fields of hydrophysical and hydrochemical elements in the water area of the Balaklava Bay] // *Ekologicheskaya bezopasnost' pribezchnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*. Sevastopol': EHKOSI-Gidrofizika, 2010. Vyp. 23. S. 180–192 (in Russian).

Metody gidrohimicheskikh issledovanij okeana [Methods of hydrochemical ocean studies] / Pod red. O.K. Bordovskogo, V.N. Ivanenkova. M.: Nauka, 1978. 272 s. (in Russian).

Mezenceva I.V., Chajkina A.V., Klimenko N.P. Sovremennyy uroven' zagryazneniya vod akvatorii Balaklavskoj buhty [The current level of water pollution in the Balaklava Bay] // *Ekologicheskaya bezopasnost' pribezchnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*. Sevastopol': EHKOSI-Gidrofizika, 2003. Vyp. 8. S. 115–118 (in Russian).

Mironov O.G., Kiryuhina L.N., Alemov S.V. Kompleksnye ekologicheskie issledovaniya Balaklavskoj buhty [Complex environmental studies of the Balaklava Bay] // *Ekologiya morya*. 1999. № 49. S. 16–20 (in Russian).

Ovsyanyj E.I., Kotel'yanec E.A., Orekhova N.A. Mysh'yak i tyazhelye metally v donnyh otlozheniyah Balaklavskoj buhty (Chernoe more) [Arsenic and heavy metals in the bottom sediments

of the Balaklava Bay (the Black Sea)] // *Morskoy gidrofizicheskij zhurnal*. 2009. № 4. S. 67–80 (in Russian).

Popov M.A. Geomorfologicheskij ocherk zaliva Megalo-Yalo i Balaklavskoj buhty [Geomorphological sketch of the Megalo-Yalo Bay and the Balaklava Bay] // *Ekologicheskaya bezopasnost' pribezchnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*. Sevastopol': MGI NAN Ukrainy, 2006. Vyp. 14. S. 209–214 (in Russian).

Popov M.A., Chepyzhenko A.I., Eremin I.YU. Opredelenie koncentracij i prostranstvennogo raspredeleniya zagryaznyayushchih veshchestv v vodah Balaklavskoj buhty gidroopticheskimi metodami v osennij period [Determination of concentrations and spatial distribution of pollutants in the waters of the Balaklava Bay using hydro-optical methods in the autumn] // *Ekologicheskaya bezopasnost' pribezchnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*: Sb. nauchnyh trudov. Sevastopol': EHKOSI-Gidrofizika, 2005. Vyp. 12. S. 202–207 (in Russian).

Popov M.A., Kovrigina N.P., Lisickaya E.V. Kompleksnyj monitoring vod Balaklavskoj buhty [Integrated monitoring of the waters of the Balaklava Bay] // *Osnovnye rezul'taty kompleksnyh issledovanij v Azovo-Chernomorskom bassejne i mirovom okeane* (yubilejnyj vypusk). Kerch': YUGNIRO, 2008. T. 46. S. 118–124 (in Russian).

Topograficheskaya karta. SSSR. USSR. Krymskaya oblast'. Sevastopol'. [Topographic map. The USSR. USSR. The Crimean Region. Sevastopol'] Masshtab 1:1 000 000, list L-36-127. M.: Izdvo: General'nogo shtaba SSSR, 1988 (in Russian).

Zima V.V., Shapovalov YU.I., Shchetinin YU.T. Rezul'taty opytnoj ekspluatatsii avtonomnogo gidrozonda MGI-4117 // *Ekologicheskaya bezopasnost' pribezchnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa* [The results of the experimental operation of the MGI-4117 autonomous hydrosonde]. Sevastopol': MGI NAN Ukrainy, 2000. S. 334–338 (in Russian).

Received 31.05.2017

Accepted 21.05.2018