

С.И.Кондратьев

Морской гидрофизический институт, г.Севастополь

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ РЕКИ ЧЕРНОЙ (КРЫМ) В 2006 – 2011 ГГ.

Представлены результаты анализа пространственных распределений кислорода и элементов главного биогенного цикла в водах реки Черной на ее протяжении от Чернореченского водохранилища до Инкерманской бухты г.Севастополя, полученных по данным экспедиционных исследований Морского гидрофизического института в 2006 – 2010 гг. Река Черная является поставщиком большого количества кремнекислоты, фосфатов и нитратов, тогда как по содержанию нитритов или органического фосфора воды реки не слишком отличаются от вод бухты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *содержание кислорода, элементы главного биогенного цикла, река Черная (Крым), Севастопольская бухта.*

Севастопольская бухта является морской акваторией эстуарного типа, принимая в восточной части (под Инкерманом) воды реки Черной – единственного постоянного водотока для бухты. Река Черная является основным океанографическим фактором, влияющим на экологическое состояние Севастопольской бухты [1 – 3], что объясняет необходимость мониторинга состояния вод реки, отмеченного в [4 – 5].

Воды реки Черной, составляющие основу водных ресурсов Севастопольского региона, были зарегулированы в 1954 – 1956 гг., после построения в верховье реки первой очереди Чернореченского водохранилища. После реконструкции в 1984 г., объем проектного наполнения водохранилища составляет 62 млн. м³ при площади зеркала 6,04 км² (для сравнения: объем вод Севастопольской бухты составляет около 79 млн. м³, площадь зеркала 7,62 км² [6]). За 50 лет эксплуатации из-за накопления донных осадков объем водохранилища уменьшился на 2,5 % и в настоящее время составляет 60,4 млн. м³.

Река Черная используется в качестве естественного водовода для обеспечения водоснабжения Севастополя питьевой водой, принимая ежедневно из водохранилища около 140 тыс. м³. На первом водозаборе (2-й гидроузел) перед с.Хмельницкое (рис.1) отбирается примерно половина воды из реки Черной, на втором водозаборе (14-й гидроузел) в районе с.Штурмовое отбираются остатки воды и река Черная официально, согласно данным официального сайта Севгортводоканала [7], заканчивает свое течение.

На самом деле, р.Черная, хотя и теряет после двух водозаборов примерно 90 – 95 % объема, тем не менее, пусть и в виде гораздо менее полноводного ручья, продолжает свой путь в Инкерманскую бухту, принимая по пути от с. Штурмовое как стоки организованных сбросов, так и сбросы сточных вод предприятий, расположенных в водоохранной зоне. Так, в 3,4 км от места впадения р. Черной в бухту функционируют организованные выпуски оборотных вод очистных сооружений пос.Сахарная Головка с объемом стока 600 тыс. м³/год и промывных вод гидроузла № 3, что приводит к загряз-

нению устья реки [3]. Качество воды визуально резко ухудшается – из прозрачной на водозаборах № 1 – 2 вода р.Черной ниже пос.Штурмовое становится мутной, значительно изменяет гидрохимический состав (см. ниже) и вследствие этого является одним из наиболее значимых источников загрязнения Севастопольской бухты [3]. Существенная трансформация химического состава вод в нижнем течении реки обсуждалась в [5], где было показано, что антропогенные источники обеспечивают от 48 до 52 % общего поступления в бухту минерального фосфора и азота соответственно.

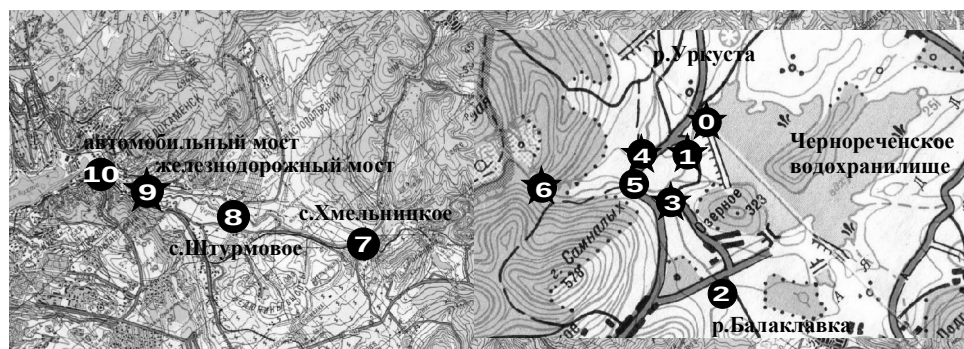
С точки зрения экологии бухты было бы очень важно, прежде всего, дать оценку количеств гидрохимических элементов, поступающих в воды Севастопольской бухты со стоком реки Черной, но такую оценку можно сделать, только если известен объем вод, непосредственно поступающих в бухту. Для этой цели не подходят данные расхода вод реки на двух гидропостах Гидрометслужбы Украины или данные на гидроузле № 1 водохранилища: данные гидропоста в с.Родниковское (в верхнем течении реки до впадения в водохранилище) характеризуют объем воды, поступающей в водохранилище; данные на гидроузле № 1 – объем воды выпускаемой из водохранилища; данные гидропоста в с.Хмельницкое (в 11 км от устья) - объем воды, поступающей с 14-й гидроузла на очистные сооружения и далее в сеть г.Севастополя. В этом плане возникают некоторые сомнения в оценке количеств различных элементов, поступающих в Севастопольскую бухту, выполненных на основании расходов воды на гидропосте в с.Хмельницкое [8]. Было бы куда более правильно каким-нибудь образом оценить расход вод р.Черной в створах вблизи верхней границы зоны смешения речных и морских вод (конкретно в районе железнодорожного моста через реку), но на данный момент эта задача не решена.

По данным сети Гидрометслужбы за 1986 – 2000 гг., минерализация вод реки колеблется в пределах 320 – 1110 мг/дм³ [4], что связано с водным режимом и источниками питания реки. Минимальные значения минерализации приурочены к зимнему периоду, при преобладании атмосферных осадков в питании бассейна стока. За период с начала сетевых наблюдений за химическим составом речной воды (30-е гг. XX в.) в результате антропогенного воздействия минерализация воды увеличилась почти в два раза, а максимальные значения близки к допустимой санитарно-гигиенической норме (1000 мг/дм³).

Задачей данной статьи является качественная оценка изменений в гидрохимическом составе вод реки по мере перемещения из водохранилища в бухту.

Материалы и методы. Региональный мониторинг нижнего течения реки Черной начал проводиться силами отдела биогеохимии моря МГИ НА-НУ с октября 2006 г. Стандартная схема из 10 – 11 станций приведена на рис.1. В правом углу рисунка в районе Чернореченского водохранилища схема станций дана в более крупном масштабе.

Номера станций подобраны так, чтобы по мере их возрастания происходило перемещение вниз по течению реки. Так, ст.0, 1 характеризуют состояние соответственно поверхностных и придонных вод Чернореченского водохранилища, ст.2 – 4 – состояние вод рек Балаклавки и Уркусты – прито-



№ ст.	с.ш.	в.д.	ориентиры
0*	44,492033	33,809025	зеркало водохранилища над водозабором
1*	44,490475	33,805073	водозабор под водохранилищем
2	44,475604	33,790574	р.Байдарка, бывший ставок
3*	44,486921	33,794287	мост-труба под с.Озерное
4*	44,493182	33,797379	р.Уркуста (приток от ставка в с.Передовое)
5	44,492115	33,792624	автомот с.Широкое - с.Передовое
6*	44,496838	33,784174	бывший гидропост у Красной Скалы
7	44,545083	33,662152	гидропост у с.Хмельницкое
8	44,574922	33,629644	автомот у с.Штурмовое
9*	44,595650	33,609477	жел-дор. мост у Инкермана
10	44,605719	33,601888	автомот у Инкермана

* отмечены станции, где отбирают пробы на БПК₅ и взвешенное вещество

Р и с . 1 . Стандартная схема станций на реке Черной.

ков р.Черной, впадающих в реку после выпуска вод из водохранилища (другие притоки впадают в водохранилище, являющееся геохимическим фильтром, и поэтому оказывают гораздо меньшее влияние на состав вод реки). Ст.5, 6 характеризуют итоговый состав вод, поступающих в Чернореченский каньон, ст.7 на гидропосту возле с.Хмельницкое – состав вод, поступающих на гидроузел 14 после водозабора на гидроузле 2, ст.8 возле с.Штурмовое – состав вод после гидроузла 14 до впадения в реку вод очистных сооружений пос. Сахарная Головка, ст.9 возле железнодорожного моста – итоговый состав вод реки перед впадением в бухту, ст.10 на автодорожном мосту – состав поверхностных вод устьевой области.

Следует отметить, что при отборе проб на ст.9 регулярно наблюдалась ситуация, когда течение вод было направлено не в бухту, а из бухты, видимо благодаря сейшам или ветровому нагону. В таком случае пробу речной воды отбирали не под железнодорожным мостом, а примерно на 300 м выше по течению, в ситуации, когда отпадали сомнения в том, что отбирается речная, а не распресненная морская вода.

Для более простого восприятия схемы станций можно отметить, что ст.0, 1 – характеризуют состав вод водохранилища, ст.2 – 4 – состав вод неочищенных вод притоков р.Черной, ст.5 – 7 срединного течения реки - состав вод, поступающих в сеть г.Севастополя, ст.8 –10 нижнего течения – состав вод р.Черной по мере приближения к устью.

На приводимых ниже рисунках к данной схеме речных станций добавлены «морские» ст.12– 14, на которых представлены осредненные гидрохимические данные по выполненной накануне съемке Севастопольской бухты: ст.12 – данные для ст.1 возле автодорожного моста (практически это ст.10 на рис.2, но отбор проб выполнен на сутки ранее), ст.13 – осредненные данные для трех станций в Инкерманском ковше, ст.14 – осредненные данные для всей бухты. Следовательно, продвигаясь по сетке станций от ст.0

Таблица 1. Сроки выполнения съемок в 2006 – 2011 гг. и символы, характеризующие каждую съемку.

год	дата	символ на рисунках
2006	18 октября	⊕
2007	21 июня	⊕
	21 февраля	□
	15 мая	▽
2008	23 октября	▷
	22 декабря	◁
	13 марта	+
2009	9 июня	△
	18 сентября	☆
2010	11 февраля	○
	22 апреля	◇
	4 февраля	✱
2011	14 сентября	×
	29 ноября	☆

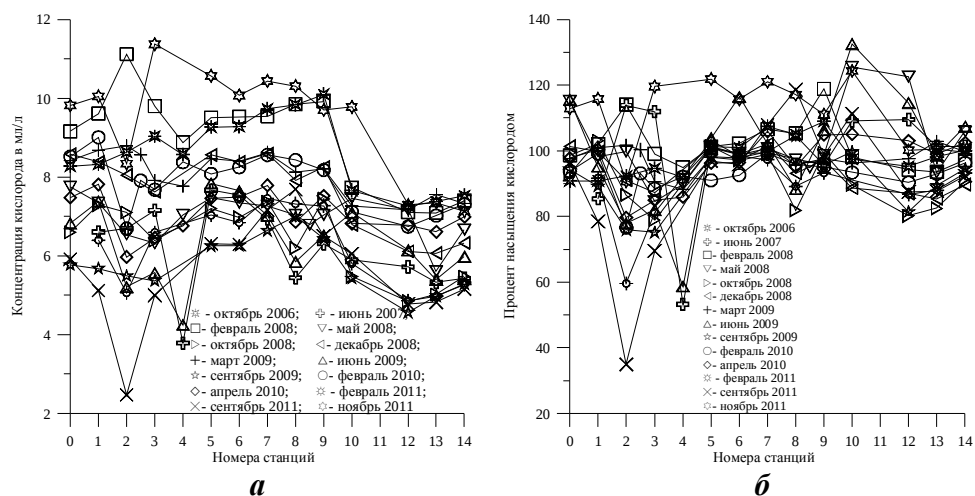
до ст.14 можно проследить изменение состава вод р.Черной вниз по течению и сравнить состав вод реки на различных участках и вод Севастопольской бухты (в устье реки, в Инкерманском ковше и всей бухты).

Первоначально были запланированы ежеквартальные съемки по гидрологическим сезонам, проводимые одновременно со съемками Севастопольской бухты, однако по различным причинам эти планы были выполнены лишь отчасти. В табл.1 приведены сроки выполнения съемок в 2006 – 2011 гг. и символы, характеризующие каждую съемку.

Определение температуры и электропроводности выполняли портативным зондирующим комплексом ГАП12. Пробы воды отбирали с поверхностного горизонта пластиковой банкой. Определение концентраций растворенного кислорода методом Винклера, органического фосфора, фосфатов, кремнекислоты, нитратов и нитритов спектрофотометрическим методом проводили в соответствии с методикой [9].

Обсуждение результатов. Растворенный кислород. Содержание растворенного кислорода на станциях в выполненных съемках представлено на рис.2, а. Концентрации кислорода имеют явно выраженный сезонный ход, в холодное время года содержание кислорода выше, что объясняется уменьшением растворимости газов при нагревании. Концентрация кислорода в водах реки почти не изменяется от истоков (ст.1, 2) до водозаборов в срединной части (ст.5 – 7), заметно уменьшается на ст.8 (что вызвано, надо полагать, взмучиванием осадков при водозаборе), возвращается почти к исходным значениям на ст.9 и заметно уменьшается на ст.10, 12 в зоне смешения вод, после чего не изменяется по мере удаления от устья.

Картина насыщения вод кислородом (рис.2, б) не показывает заметного сезонного хода, насыщение поверхностных вод водохранилища, равно как и вод срединной части реки на ст.5 – 7, как правило, 90 – 100 %, лишь в отдельных случаях наблюдалось насыщение выше 120 % (ноябрь 2011 г.) или ниже 90 % (февраль 2010 г.). После водозабора на ст.8, 9 разброс значений насыщения вод кислородом увеличивается и еще больше возрастает в зоне

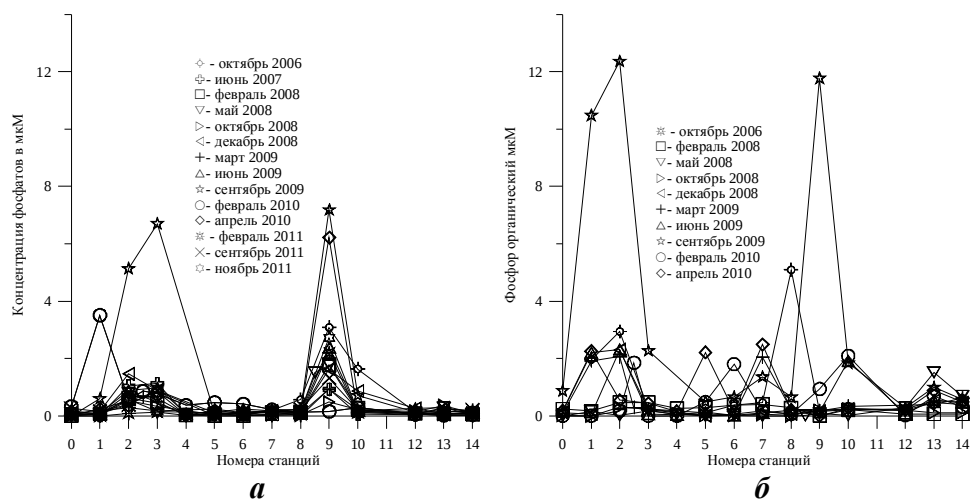


Р и с . 2. Содержание растворенного кислорода в мл/л (а) и процент насыщения вод кислородом (б) вод реки Черной и Севастопольской бухты.

смешения на ст.10, 12, после чего заметно уменьшается в морской воде Инкерманского ковша и Севастопольской бухты, как правило ограничиваясь пределами 95 – 105 %.

На обоих рисунках в притоках р.Черной на ст.2 – 4 регулярно наблюдается уменьшение концентрации и насыщения вод кислородом по сравнению с водами водохранилища и срединного течения, что вызвано расходом кислорода на окисление органических соединений (например, коровьих лепешек), поступающих в воды рек Балаклавки и Уркусты.

Можно отметить также гораздо больший разброс значений концентраций и насыщения на расположенных в 20 м друг от друга в зоне смешения речных и морских вод ст.10 и 12, что вызвано высокой изменчивостью гидрологических и биохимических характеристик в этом районе.

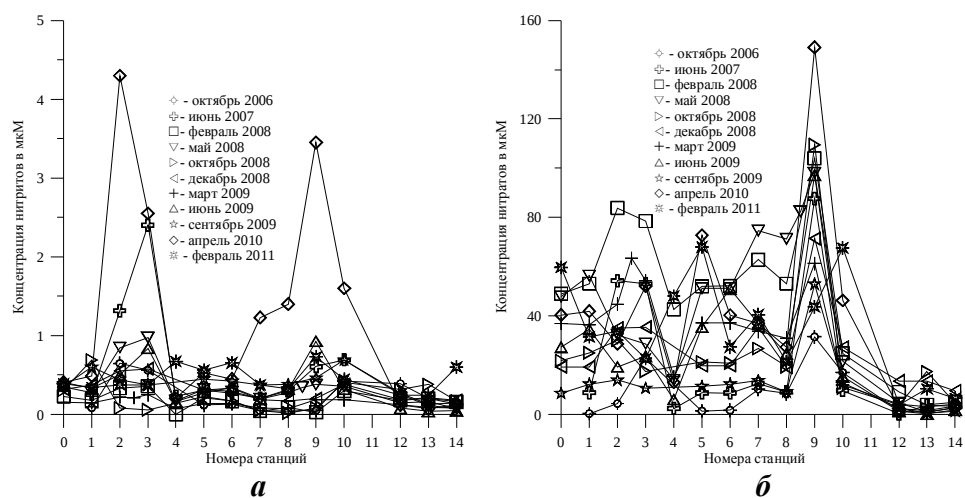


Р и с . 3. Содержание фосфатов (а) и фосфора органического (б) в мкМ в водах реки Черной и Севастопольской бухты.

Рассматривая распределение фосфатов вниз по течению реки (рис.3, а) можно, пожалуй, наиболее наглядно указать на особенности изменения содержания гидрохимических компонентов по мере перемещения вод из водохранилища в бухту. В самом водохранилище концентрации фосфатов близки к нулевым; притоки (особенно Балаклавка) содержат неорганического фосфора примерно на порядок выше; в срединном течении (благодаря малому расходу притоков) содержание фосфатов удерживается примерно на том же уровне, что и в водохранилище; затем, после водозабора и уменьшения расхода реки примерно в 10 раз, происходит мощнейший выброс фосфатов в нижнем течении ниже п.Штурмовое, что подтверждается постоянным пиком фосфатов на ст.9; в зоне смешения речных и морских вод на ст.10 этот пик несколько уменьшается, и сводится почти на нет в бухте. При этом «гашение» выброса фосфора неорганического на пути в Севастопольскую бухту сопровождается повышенным содержанием фосфора органического в водах Инкерманского ковша (рис.3, б, ст.13).

Также можно отметить отсутствие какого-либо сезонного хода содержания соединений фосфора вследствие постоянно невысокого содержания фосфатов на уровне минимально определяемых концентраций, и не слишком хорошо поддающегося интерпретации распределения фосфора органического, с отдельными одиночными выбросами повышенных значений концентрации, не подтверждающимися на соседних станциях с примерно тем же составом вод.

Самый главный вывод из данных рис.3 заключается в том, что устье реки Черной безусловно является весьма мощным источником фосфатов для Севастопольской бухты. При этом угрожающе высокое повышение концентрации фосфатов никак не связано с водами реки, в водах водохранилища и реки до водозабора соединений фосфора содержится не больше, чем в водохранилище или бухте. Следует отметить, что на ст.9 постоянно наблюдается пик именно фосфатов, а не органического фосфора, следовательно, в нижнем течении между ст.8 и 9 имеется сброс бытовых стоков моющих веществ или фосфатных удобрений.



Р и с . 4 . Содержание нитритов (а) и нитратов (б) в мкМ в водах реки Черной и Севастопольской бухты.

Особенности пространственного распределения окисленных форм неорганического азота (нитратов и нитритов) в водах реки (рис.4) практически такие же, как и фосфатов. Задаваемый в водах водохранилища уровень концентраций сохраняется в срединном течении, значительно возрастает на ст.9 (то есть бытовые стоки в нижнем течении содержат, видимо, нитратные удобрения). Этот максимум нитритов и нитратов, более ярко выраженный для нитратов, затем «разбавляется» в зоне смешения на ст.10, остается заметным в водах Инкерманского ковша на ст.13 и далее исчезает в водах бухты. Небольшой максимум концентраций в притоках, ст.2 – 4, не оказывает значительного влияния на содержание окисленных форм азота в срединном течении.

Отличие в распределении нитритов и нитратов заключается в значительно больших, примерно 50 : 1, концентрациях нитратов, источником которых (в отличие от фосфатов) непосредственно являются воды водохранилища, в которых нитратов постоянно содержится примерно в 5 – 10 раз больше, чем в водах бухты.

В пространственном распределении аммония, кроме привычного для всех элементов возрастания концентраций в притоках и нижнем течении, Рисунок 5 а, можно отметить происходящее регулярно явное снижение концентраций аммония в срединном течении между ст.5 и 7. Можно было бы предполагать извлечение аммония в процессе фотосинтеза, однако более внимательный анализ распределения окисленных форм азота на рис.4 позволяет заметить между ст.6 и 7 небольшое уменьшение содержания нитритов, тогда как концентрации нитратов увеличиваются.

Следовательно, на примерно 15-ти километровом участке между ст.6 и 7 происходит достаточно быстрое (время преодоления этого расстояния при скорости течения около 0,5 – 1,0 м/с составит примерно всего 5 – 10 часов) окисление аммония и нитритов в нитраты. При этом уровни изменения концентраций этих трех форм азота не совпадают: уменьшение содержания аммония и нитритов составляет микромоли, увеличения нитратов – десятки

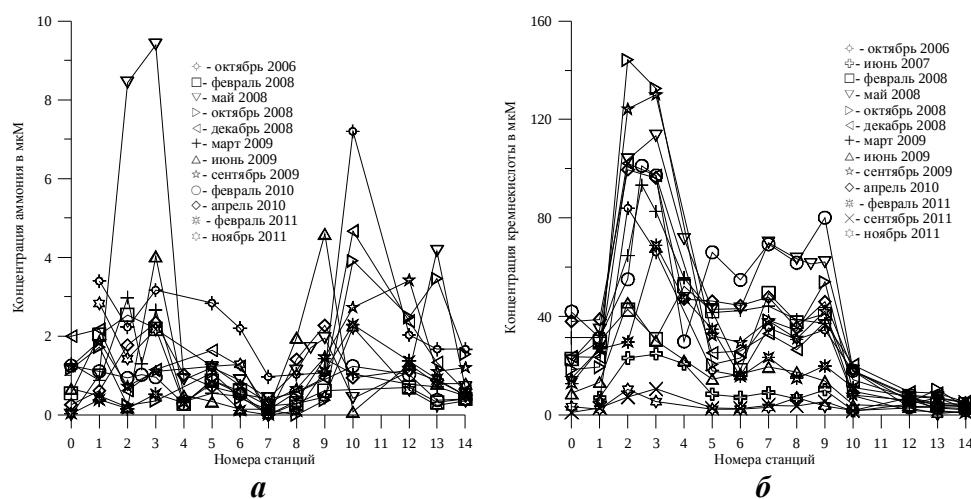


Рис. 5. Содержание аммония (а) и кремнекислоты (б) в мкМ в водах реки Черной и Севастопольской бухты.

микромоль. Следовательно, на этом участке между ст.6 и 7 должно происходить дополнительное поступление нитратов, вероятнее всего со стоками правого притока реки в Чернореченском каньоне.

Качественно сравнивая концентрации аммония в водах водохранилища, срединного течения реки и бухты следует заключить, что водохранилище не является источником аммония для Севастопольской бухты. Даже при условии явного увеличения содержания аммония с глубиной в водах водохранилища (сравните концентрации на поверхности (ст.0) и на придонном выпуске (ст.1)), по мере перемещения вод к водозабору содержание аммония падает ниже концентраций в бухте. Это происходит, вероятно, вследствие окисления аммония речных вод до нитратов, а этого компонента воды водохранилища и так содержат гораздо больше, чем воды бухты.

Для пространственного распределения кремнекислоты (рис.5, б) характерны гораздо более высокие концентрации кремнекислоты в водах водохранилища по сравнению с водами бухты. Из проведенных 13 съемок только в двух случаях, в сентябре и ноябре 2011 г. содержание кремнекислоты в водах водохранилища было меньше, чем в морской воде.

Пониженные концентрации кремнекислоты в 2011 г. связаны, предположительно, с понижением уровня воды в водохранилище, который осенью 2011 г. был заметно ниже обычного. Вследствие этого в каньон р.Черной выпускалась теплая (температура воды на ст.1 была 19 °С, тогда как обычно она не превышает 10 – 12 °С) приповерхностная вода с невысоким содержанием кремнекислоты. Ранее было показано [10], что для Чернореченского водохранилища в летний период характерен контраст между малыми (не более 2 мкМ) концентрации кремнекислоты в поверхностных водах и более высокими (до 40 мкМ) в придонных.

Другим отличием является увеличение содержания кремнекислоты в срединном течении по сравнению с водами водохранилища, что происходит из-за очень высоких концентраций не только в притоках верхнего течения (в водах Балаклавки примерно пятикратное превышение), но и, наверное, притока между ст.6 и 7 (конкретные гидрохимические данные по правому притоку реки Черной отсутствуют по причине труднодоступности). Зато бытовые стоки в нижнем течении до ст.9 не слишком изменяют концентрацию кремнекислоты в речных водах.

Как видно из приведенных выше рисунков, для всех исследованных биогенных элементов, как правило, сохраняются следующие особенности распределения:

- 1) содержание элемента в притоках реки Черной, особенно в Балаклавке, значительно отличается от концентрации на выпуске воды из водохранилища;

- 2) на ст.5, где происходит объединение вод р.Черной и притоков, состав воды становится практически такой же, как в водохранилище. Это происходит благодаря гораздо большему объему выпускаемых вод р.Черной, сравнительно безболезненно разбавляющему относительно небольшой объем загрязненных вод р.Балаклавки (р.Уркуста, ст.4, как правило или находится в пересохшем состоянии, или же несет достаточно чистые воды, выходящие из ставка в с.Передовое, который, как и водохранилище, является геохими-

ческой ловушкой для биогенных элементов);

3) от ст.5 до водозабора перед ст.8 значительных изменений в концентрациях биогенных элементов не происходит;

4) на ст.9 концентрации всех биогенных элементов резко возрастают, после чего по мере разбавления речных вод морскими содержание биогенных элементов уменьшается до уровня, характерного для Севастопольской бухты.

Выводы. Сравнение содержания биогенных элементов на устьевой ст.9 и в водах Севастопольской бухты за весь период исследований показывает, что устье р.Черной является поставщиком большого количества кремниевой кислоты, фосфатов и нитратов, тогда как по содержанию нитритов или органического фосфора воды реки не слишком отличаются от вод бухты.

Примечание: Хотя в тексте статьи косвенно затрагиваются вопросы водоснабжения г. Севастополя, задачей статьи, как уже отмечалось ранее, не является какая-либо критика коммунального предприятия "Севгороводоканал". Более того, автор, уже более 10 лет исследующий гидрохимический состав вод Чернореченского водохранилища и реки Черной, глубоко уверен, что проблем с водоснабжением города было бы гораздо больше, если бы не очень серьезная охрана акватории Чернореченского водохранилища. Охрана эта обеспечивается работниками отделения "Севгороводоканала", расположенного в с. Озерное, которым автор приносит личную благодарность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овсяный Е.И., Кемп Р.Б., Репетин Л.Н., Романов А.С. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты в условиях антропогенного воздействия (по наблюдениям 1998-1999 гг.) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000.– С.79-103.
2. 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.
3. Овсяный Е.И., Романов А.С., Миньковская Р.Я. и др. Основные источники загрязнения морской среды Севастопольского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2001.– вып.2.– С.138-152.
4. Тимченко З.В. Водные ресурсы и экологическое состояние малых рек Крыма.– Симферополь: ДОЛЯ, 2002.– 152 с.
5. Овсяный Е.И., Артеменко В.М., Романов А.С., Орехова Н.А. Сток реки Черной как фактор формирования водно-солевого режима и экологического состояния Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– вып.14.– С.56-67.
6. Иванов В.А., Овсяный Е.И., Репетин Л.Н. и др. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / Препринт.– Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006.– 90 с.
7. <http://sevgorvodokanal.org.ua/>

8. *Миньковская Р.Я., Ингеров А.В.* Гидрохимическая характеристика рек Севастопольского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010.– вып.22.– С.281-296.
9. *Методы* гидрохимических исследований океана.– М.: Наука, 1978.– 267 с.
10. *Кондратьев С.И., Артеменко В.М., Бадюков Д.Д. и др.* Гидролого-гидрохимические особенности вод Чернореченского водохранилища в летний период // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– вып.9.– С.67-75.

Материал поступил в редакцию 11.11.2013 г.

АНОТАЦІЯ Представлені результати аналізу просторових розподілів кисню і елементів головного біогенного циклу у водах річки Чорної (Крим) на її протязі від Чернореченського водосховища до Інкерманської бухти г.Севастополя, отриманих за даними експедиційних досліджень Морського гідрофізичного інституту в 2006 – 2011 рр. Река Чорна є постачальником великої кількості кремнекислоти, фосфатів і нітратів, тоді як за змістом нітриту або органічного фосфору води річки не занадто відрізняються від вод бухти.

ABSTRACT The analysis of spatial distributions of oxygen and nutrients in the Black river waters (Crimea), on it extent from Chernorechenskoe storage to Inkerman bay of Sebastopol, based on the data of expeditionary researches of the Marine Hydrophysical institute in 2006 – 2011, is presented. The Black river is the supplier of plenty of silica, phosphates and nitrates, while concentrations of nitrites or organic phosphorus in the river waters not too differ from waters of bay.