

Р.Я.Миньковская, А.В.Ингеров

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕК СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА

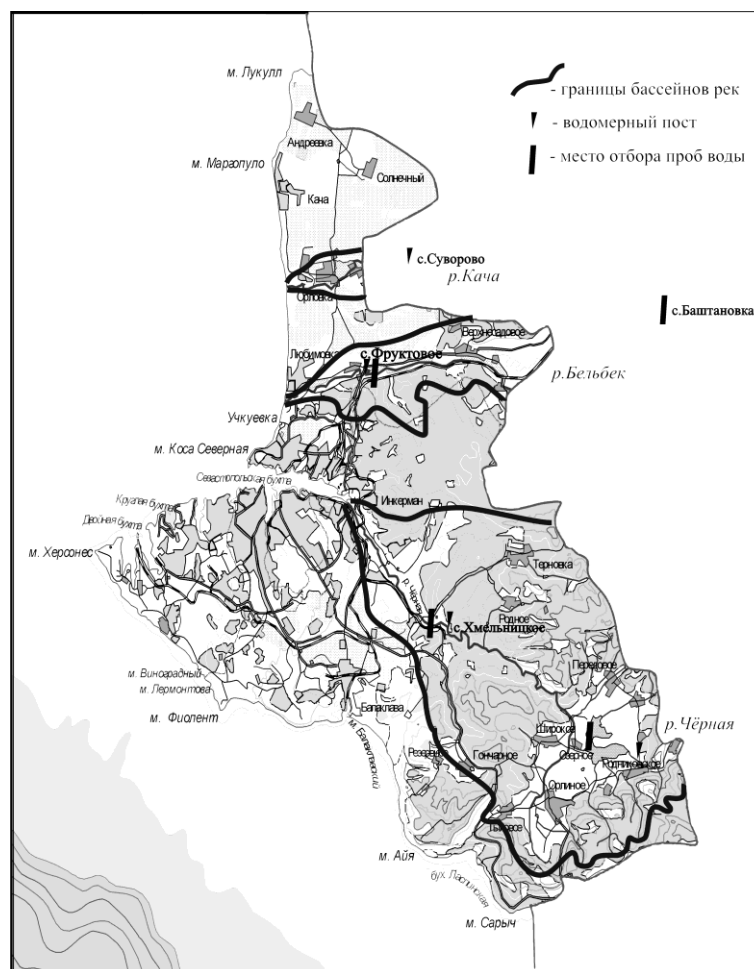
Рациональное использование природных ресурсов рек Бельбек, Чёрная и Кача, их сбережение и восстановление актуально в условиях дефицита воды и ухудшения её качества, особенно после аварии на ЧАЭС, в результате которой произошло загрязнение водосбора р.Днепр радионуклидами. Оценка качества речных вод выполнена на основе стационарных наблюдений Гидрометеослужбы Украины в АР Крым с 1989 г. по 2008 г. и эпизодических наблюдений других организаций. На её основе получена современная гидрохимическая характеристика, рассчитан сток химических веществ, оценены временные тенденции его составляющих и сделан вывод о возможности использования воды р.Бельбек в качестве резерва водных ресурсов для хозяйственных нужд севастопольского региона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *качество речных вод, сток химических веществ, временные тенденции речного стока, биогенный цикл, реки Кача, Бельбек, Чёрная.*

Севастопольский регион расположен в бассейне р.Чёрной и нижних частях бассейнов рек Кача и Бельбек (рис.1). В настоящее время для нужд водоснабжения г.Севастополя используется вода р.Чёрной, сток р.Бельбек поступает в море, при этом затопливая долину, и практически не используется в хозяйстве. В то же время, качество воды р.Бельбек и р.Кача выше, чем других рек Украины, особенно р.Днепр и р.Дунай, т.к. на берегах крымских рек пока нет значительных источников загрязнения и эти водные объекты не судоходны, что позволяет использовать их водные ресурсы в качестве резервных источников пресных вод, для нужд водоснабжения и рекреации.

С середины прошлого века началось интенсивное хозяйственное освоение бассейнов рек, включая устьевые области, но в то время охрана природы не всегда учитывалась в планах развития, её объективные законы игнорировались, какое-то время опасность, порождаемая таким хозяйствованием, не была заметна. Возрастающая антропогенная нагрузка на речные долины достигла критической стадии, и к концу XX в. проблемы природопользования, обусловленные нарушением природного равновесия, стали негативно сказываться на сложившихся в регионе социально-хозяйственных комплексах. В основном это проявляется в загрязнении поверхностных и подземных вод, увеличении минерализации, затоплении и подтоплении территорий [1].

Основными проблемами указанных рек является возникающий в период засухи и межени дефицит воды и ухудшение её качества, в том числе из-за несоблюдения природоохранного законодательства хозяйствующими субъектами. Поэтому оценка качества воды крымских рек является актуальной задачей, решение которой будет способствовать разработке рекомендаций по рациональному использованию, сохранению и восстановлению водных ресурсов региона.



Р и с . 1 . Расположение пунктов наблюдений в бассейнах рек Кача, Бельбек и Чёрная.

С этой целью выполнена характеристика качества воды рек Чёрная, Бельбек и Кача в современный период, определены тенденции основных ингредиентов гидрохимического состава, рассчитан сток и модуль стока растворённых веществ в замыкающих створах рек.

Материалы и методика. Информационной базой для оценки качества воды рек региона являются данные ГВК, подготовленные и предоставленные Крымским ЦГМ Гидрометеослужбы Украины, материалы наблюдений МГИ НАНУ в устьевой области р. Чёрной, Управления экоресурсов, СЭС и других организаций и ведомств, а также литературные данные. Методики наблюдений и определения концентрации растворённых веществ – стандартные. Для анализа гидрохимического режима использовались методы математической статистики, сток химических веществ рассчитан по [2] и физико-статистическим зависимостям между величинами стока веществ и воды.

Систематические гидрохимические наблюдения осуществляются гидрометеорологической службой Украины с начала 40-х гг. XX в., а наблюде-

ния за загрязненностью воды рек – с начала 80-х гг. после создания Государственной службы наблюдений и контроля за загрязненностью объектов природной среды (ОГСНК).

До настоящего времени знания по водному и гидрохимическому режимам рек Чёрная, Бельбек и Кача остаются ориентировочными. Это обусловлено как недостаточной изученностью современного режима, так и сложностью, своеобразием условий формирования поверхностного водного стока и гидрохимического состава вод (наличие карста, деформация русел, забор воды на орошение, сбросы загрязненных вод, зарегулированность и пр.).

Контроль качества воды рек региона осуществляют различные организации [3], при этом отсутствует межведомственная координация и обмен информацией, что приводит к дублированию и несопоставимости результатов, затрудняя анализ пространственно-временной изменчивости.

Для оценки качества воды рек Чёрная, Бельбек и Кача в работе использовались данные систематических гидрохимических наблюдений Крымского ЦГМ в с.Хмельницкое (р.Чёрная), 9,5 км от устья, с.Фруктовое (р.Бельбек), 7,5 км от устья и с.Баштановка (р.Кача), 37,1 км от устья.

Ряды наблюдений за химическими ингредиентами на реках неодинаковые: период наблюдений на р.Чёрной у с.Хмельницкое составляет 29 лет, с 1980 г. по 2008 г.; на р.Бельбек у с.Фруктовое и р.Кача у с.Баштановка – по 36 лет, с 1973 г. по 2008 г. Створы, где определялся химический состав, не совпадают с гидрометрическими створами (рис.1) и расположены: в 0,5 км выше с.Фруктовое (р.Бельбек) и в 0,5 км выше водпоста; в 0,5 км выше с.Баштановка (р.Кача) и 1,1 км выше водпоста; в 2,0 км ниже с.Хмельницкое (р.Чёрная) и в 1,5 км ниже водпоста. Поэтому на реках Бельбек и Кача качество воды несколько лучше, из-за недоучёта сбросов указанных сёл, а на р.Чёрная – несколько хуже, т.к. определения выполняются ниже села.

Наблюдения выполнялись раз в сезон, в разные месяцы, по 25 – 30 показателям гидрохимического режима. Стандартный комплекс наблюдений ограничен органолептическими свойствами воды, ионным и газовым составом, биогенными и загрязняющими веществами (ЗВ).

Сооружение водохранилищ на реках и их притоках отразилось на качестве речной воды, уровень хозяйственного освоения в их бассейнах в последние 20 лет отличается от предыдущего, поэтому анализ содержания химических элементов в воде рек осуществлён за одинаковый период, с 1989 по 2008 гг.

Обсуждение результатов. Сток воды рассматриваемых рек после сооружения водохранилищ, осуществления его регулирования и изъятий, значимых тенденций не имеет. Средний годовой расход воды за рассматриваемый период принимался по замыкающим створам: р.Кача (с.Суворово) равным $1,27 \text{ м}^3/\text{с}$, р.Бельбек (с.Фруктовое) $2,15 \text{ м}^3/\text{с}$, р.Чёрная (с.Хмельницкое) $1,87 \text{ м}^3/\text{с}$.

Основными источниками загрязнения речных вод является поступление ЗВ с сельхозугодий, приусадебных участков, сбросы хозяйственно-бытовых сточных вод и неорганизованные сбросы, смыв с территории бассейна при стокообразующих осадках. В среднем за год в реки региона сбрасывается около 2,25 млн. м^3 сточных вод (что составляет 1,5 % суммарного стока рек Черная, Кача и Бельбек), с мелиорированных земель выносятся 7 – 15 т соединений азота и фосфора, около 10 кг пестицидов [4]. В сельскохозяйст-

венной зоне, как правило, отсутствует система водоснабжения и канализования, малоэффективна работа очистных сооружений, что приводит к преобладанию в общем количестве сбросов в реки хозяйственно-бытовых недостаточно-очищенных и неочищенных сточных вод (около 75 %), с которыми в пресноводные объекты поступают взвешенные, органические, биогенные и загрязняющие вещества, общим количеством около 430 т.

Органолептические свойства воды. По органолептическим свойствам вода рек в период с 1989 г. по 2008 гг. большую часть года – удовлетворительного качества. Только в паводки прозрачность воды уменьшается, увеличивается цветность, количество взвешенных веществ, ХПК и БПК₅ (табл.1). Запах, не свойственный воде интенсивностью более 1 балла, отсутствовал.

Из табл.1 видно, что наиболее благоприятные для водопользования органолептические свойства воды характерны для р.Чёрной, являющейся источником водоснабжения г.Севастополя, в связи с чем в бассейне этой реки осуществляются меры по охране водных ресурсов от загрязнения.

Так как естественным источником поступления взвешенных веществ в реки, особенно во время паводков, является размыв пород, что в основном характерно для р.Кача и р.Бельбек, русла которых пролегают в известняковых породах с высоким содержанием глинистых мергелей, именно в воде этих рек концентрация взвесей наибольшая.

Т а б л и ц а 1. Характеристика органолептических и свойств и состава воды рек.

свойства	характеристика	река		
		р.Бельбек – с.Фруктовое	р.Чёрная – с.Хмельницкое	р.Кача – с.Баштановка
прозрачность, см	среднее	22	23	22
	максимум	24	24	24
	минимум	3	2	0
	C_v	0,2	0,1	0,2
цветность, град.	среднее	14	11	10
	максимум	46	40	48
	минимум	0	0	0
	C_v	0,9	1,0	1,0
взвешенные вещества, мг/л	среднее	22,5	17,5	21,9
	максимум	109	71,0	130
	минимум	2,4	0,0	0,0
	C_v	0,9	0,9	1,2
ХПК, $\leq 15,0$ мг O_2 /л	среднее	10,86	10,03	11,30
	максимум	47,30	32,10	27,70
	минимум	1,80	0,00	3,30
	C_v	0,6	0,5	0,4
БПК ₅ , $\leq 3,0$ мг O_2 /л	среднее	2,36	2,36	2,67
	максимум	13,90	14,20	6,08
	минимум	0,25	0,17	0,17
	C_v	0,7	0,8	0,5

Биохимическое потребление кислорода (БПК₅), характеризующее загрязненность воды и содержание легкоокисляющихся органических веществ, в среднем не превышает допустимое значение и составляет 2,4 – 2,7 мгО₂/л. В отдельных пробах воды рек Бельбек и Чёрная эта характеристика почти в 5 раз превышала ПДК. Средние значения ХПК также не превышают ПДК. Наибольшее количество органических веществ характерно для воды р.Кача, наименьшее – для р.Чёрная (табл.1).

Согласно классификации (Былинкиной А.А., Драчёва С.М., Ицковой А.И. [5]) загрязнённости водных объектов, по БПК₅ вода рек может считаться умеренно загрязнённой, а по ХПК – грязной.

Газовый состав. В воде рек определялся растворённый кислород, углекислый газ и сероводород, обобщённые данные за 1989 – 2008 гг. представлены в табл.2.

Сероводород и дефицит кислорода не наблюдались. Содержание газов в водной среде изменялось в зависимости от фазы водного режима и температуры воды. Минимальная концентрация растворённого кислорода отмечалась в межень и составляла 7 – 8 мг/л, максимальная – зимой (15,5 – 22,3 мг/л). Среднее многолетнее насыщение воды кислородом на всех реках было близко к 100 %, что соответствует категории чистых вод по этому индигиенту гидрохимического режима.

Содержание ионов водорода, рН, в среднем близко к их нейтральной активности – 7,8. Максимальные значения несколько больше, например, вода р.Бельбек в июле 1992 г. имела рН, равный 9,2.

Из табл.2 очевидно, что газовый режим рассматриваемых рек идентичен и обусловлен близкими условиями формирования речного стока.

Т а б л и ц а 2. Содержание растворённых газов.

ингредиент	характеристика	река		
		р.Бельбек – с.Фруктовое	р.Чёрная – с.Хмельницкое	р.Кача – с.Баштановка
кислород, ≤ 4,0 мг/л	среднее	10,82	10,55	10,98
	максимум	22,30	16,70	15,50
	минимум	7,12	7,36	7,68
	C _v	0,2	0,2	0,2
насыщение кислородом, %	среднее	101	98	101
	максимум	195	148	163
	минимум	65	68	68
	C _v	0,2	0,2	0,2
углекислый газ, мг/л	среднее	3,49	3,21	3,18
	максимум	26,40	12,30	22,00
	минимум	0,00	0,00	0,00
	C _v	1,3	0,9	1,2
рН (6,5 – 8,5)	среднее	7,84	7,85	7,84
	максимум	9,20	8,45	8,45
	минимум	7,45	7,26	7,40
	C _v	0,02	0,02	0,02

Основные ионы. Поверхностные пресные воды региона в основном относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы (табл.3).

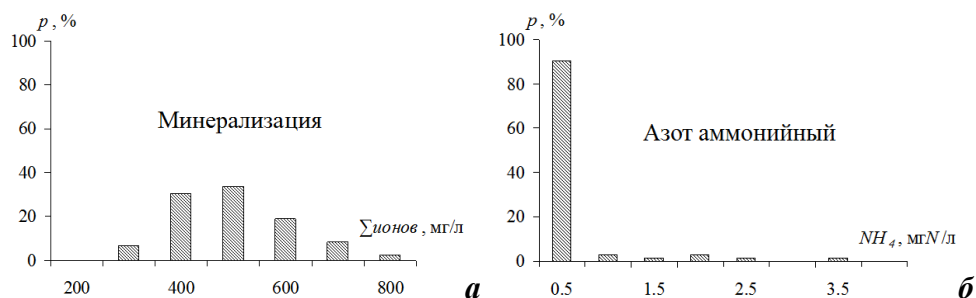
По данным сетевых наблюдений гидрометеорологической службы Украины в среднем за 1989 – 2008 гг. минерализация воды рек составляла 426 мг/л (р.Чёрная, с.Хмельницкое) – 523 мг/л (р.Бельбек, с.Фруктовое), а экстремальные значения изменялись в пределах 233 – 1201 мг/л.

Содержание главных ионов в среднем в воде всех рек не превышало ПДК. В отдельных пробах воды рек максимальная концентрация кальция, магния, сульфатов и хлоридов была высокой (табл.3), в основном с августа

Т а б л и ц а 3 . Ионный состав воды рек Севастопольского региона.

ингредиент	характеристика	река		
		р.Бельбек – с.Фруктовое	р.Чёрная – с.Хмельницкое	р.Кача – с.Баштановка
кальций, ПДК = 180,0 мг/л	среднее	80,6	62,7	66,3
	максимум	272	144	161
	минимум	12,2	13,8	12,0
	C_v	0,5	0,4	0,5
	среднее	28,1	13,5	26,8
магний, ПДК = 40,0 мг/л	максимум	102	51,3	65,7
	минимум	2,4	1,9	2,4
	C_v	0,6	0,7	0,5
	среднее	24,7	34,8	32,3
натрий, ПДК = 120 мг/л, калий ПДК = 50,0 мг/л	максимум	132	122	119
	минимум	1,9	0,75	1,0
	C_v	0,9	0,8	0,9
	среднее	255	238	250
гидрокарбонаты, мг/л	максимум	579	489	404
	минимум	152	149	56,7
	C_v	0,2	0,3	0,2
	среднее	91,7	53,7	89,1
сульфаты, ПДК = 100 мг/л	максимум	286	300	286
	минимум	8,0	5,8	8,0
	C_v	0,6	0,8	0,7
	среднее	40,8	20,0	21,9
хлориды, ПДК = 300 мг/л	максимум	430	58,1	92,9
	минимум	5,3	5,4	8,5
	C_v	1,2	0,7	0,7
	среднее	523	426	493
минерализация, ≤ 1000 мг/л	максимум	1201	966	769
	минимум	233	246	263
	C_v	0,3	0,3	0,2

П р и м е ч а н и е : ПДК приводятся для поверхностных вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования по санитарно-токсикологическому лимитирующему показателю вредности.



Р и с . 2 . Гистограммы распределения минерализации (а) и концентрации аммонийного азота (б) в воде р.Кача (с.Баштановка).

по январь. Максимальная концентрация магния и сульфатов превышала ПДК в воде всех рек региона.

Так как главные ионы всегда содержатся в речной воде, распределение их концентраций и минерализации воды близко к нормальному закону распределения (рис.2).

Главные элементы биогенного цикла. Несмотря на то, что биогенные вещества попадают в воду рек Чёрная, Бельбек и Кача с сельскохозяйственных угодий и с хозяйственно-бытовыми стоками, их средняя и максимальная концентрация обычно не превышает ПДК, установленную для водных объектов хозяйственно-бытового, рыбохозяйственного и культурно-бытового водопользования (табл.4).

В соответствии с классификацией Былинкиной А.А., Драчёва С.М., Ицковой А.И. [5], вода рек Бельбек и Чёрная в среднем остаётся чистой по содержанию в ней биогенных веществ. Хуже качество воды р.Кача, т.к. её уже можно считать умеренно загрязнённой, а в июне 1992 г. — очень грязной. Причинами повышенной концентрации биогенных веществ в основном являются смыв с сельскохозяйственных территорий во время ливней, особенности почвенно-растительного покрова, проблемы канализования сточных вод населённых пунктов.

В отличие от ранее рассмотренных характеристик гидрохимического режима рек (органолептические свойства, ионный и газовый состав) изменчивость концентрации биогенных веществ существенна — C_v равно среднему значению или превосходит его в 1,2 – 15 раз (табл.4).

Следовательно, биогенные вещества, в отличие от присущего воде рек химического состава, который мало изменчив во времени, попадают в реки эпизодически в концентрациях, превышающих средние значения в 5 – 15 раз, или их вообще не обнаруживают.

Особенности попадания растворённых веществ в водную среду рек проявляются в гистограммах распределения их концентраций (рис.2). Например, азот аммонийный в воде р.Кача обнаруживается в 78 % случаев, т.е. в 22 % случаев концентрация этого вещества была ниже порога чувствительности метода определения, а главные ионы всегда присутствуют в воде реки, т.к. являются основной составной частью химического состава, результатом водной эрозии. Поэтому гистограмма распределения концентрации аммонийного азота (рис.2, б) крайне асимметрична, а минерализации — близка к нормальному распределению (рис. 2, а).

Т а б л и ц а 4. Содержание главных элементов биогенного цикла.

ингредиент	характери- стика	река		
		р.Бельбек – с.Фруктовое	р.Чёрная – с.Хмельницкое	р.Кача – с.Баштановка
азот аммонийный, ПДК = 0,5 мгN/л	среднее	0,11	0,10	0,21
	максимум	0,95	0,62	3,38
	минимум	0,00	0,00	0,00
	C_v	1,4	1,4	2,4
азот нитратный, ПДК = 9,1 мгN/л	среднее	1,13	0,70	0,76
	максимум	4,62	3,40	4,50
	минимум	0,00	0,00	0,00
	C_v	1,0	1,1	1,2
азот нитритный, ПДК = 0,020 мгN/л	среднее	0,01	0,01	0,01
	максимум	0,06	0,44	0,04
	минимум	0,00	0,00	0,00
	C_v	1,3	4,6	1,9
сумма азотистых соединений, мг/л	среднее	1,24	0,80	0,98
	максимум	4,73	3,45	4,54
	минимум	0,00	0,00	0,00
	C_v	0,9	1,0	1,1
фосфаты, мг/л	среднее	0,04	0,06	0,04
	максимум	0,13	1,15	0,42
	минимум	0,00	0,00	0,00
	C_v	0,7	2,2	1,4
фосфор общий, мг/л	среднее	0,10	0,09	0,09
	максимум	0,65	0,53	0,56
	минимум	0,00	0,00	0,00
	C_v	0,9	0,8	1,0
кремний, мг/л	среднее	3,8	3,2	3,6
	максимум	22,1	13,9	20,0
	минимум	0,4	0,2	0,3
	C_v	1,1	1,0	1,0
железо общее, ПДК = 0,5 мг/л	среднее	0,20	0,09	0,14
	максимум	1,40	0,63	0,90
	минимум	0,00	0,00	0,00
	C_v	1,8	1,1	1,2

Биогенные вещества, образующиеся в воде при распаде животных и растительных организмов, содержатся в небольших количествах и составляют фон, который изменяется при поступлении ГЭБЦ в результате смыва с территории бассейна или сбросах сточных вод. Так, в приводимом примере

(рис.2) концентрация аммонийного азота в воде р.Кача (когда она вообще была обнаружена) в 68,5 % случаев была в 4 раза ниже ПДК, т.е. в 91 % случаев наблюдалась фоновая концентрация и она не превышала 0,5 мг/л. Только в 9 % случаев происходило загрязнение воды биогенными веществами в концентрациях, превышающих этот предел, а превышение ПДК зафиксировано в 2,7 % случаев. Эпизодичность загрязнения речной воды ГЭБЦ обуславливает смещение их концентраций на гистограммах распределения в сторону малых величин.

Аналогичные гистограммы распределения концентрации ГЭБЦ характерны для рек Чёрная и Бельбек, а также для остальных биогенных веществ.

Основные загрязняющие вещества. Характеристика содержания определяемых загрязняющих веществ дана в табл.5. За весь рассматриваемый период смолы и асфальтены не были обнаружены. Крайне редко в воде содержались фенолы.

В последние годы речная вода (р.Чёрной с 1989 г., р.Бельбек с 2002 г., р.Кача с 1992 г.) чаще загрязнена нефтяными углеводородами (НУ). Вероятной причиной этого может быть автотранспорт, количество которого существенно возросло. В отдельных пробах концентрация НУ превышала ПДК: в воде р.Бельбек в 1 % случаев, р.Кача 2 % случаев, а в р.Чёрная превышения ПДК никогда не наблюдалось. Причём, в воде рек Бельбек и Кача ПДК было превышено почти в 2 раза (табл.5).

Частота обнаружения НУ в воде рек невелика: в р.Чёрная это загрязняющее вещество обнаруживали в 30 % проб, р.Бельбек – в 26 % проб, р.Кача – в 29 % проб.

Концентрация НУ вниз по течению р.Чёрной увеличивается, изменение концентрации этого ингредиента по направлению к морю в воде рек Кача и Бельбек не изучено. По данным Управления экоресурсов средняя концентрация НУ в районе г.Сахарная Головка в 10 раз выше, чем у с.Хмельническое.

Среднее содержание СПАВ в воде всех рек почти в 10 раз меньше ПДК, только в отдельных пробах их концентрация составляла 0,7 – 0,8 ПДК.

Микроэлементы обнаруживаются в районе сёл Хмельническое (р.Чёрная), Фруктовое (р.Бельбек) и Баштановка (р.Кача) с разной повторяемостью. Повторяемость обнаружения в пробах воды меди составляет 63 % (р.Бельбек), 72 % (р.Чёрная) и 75 % (р.Кача); цинка – 39, 54 и 56 % соответственно. Хром шестивалентный содержится в 69 % проб воды р.Бельбек, в 73 % – р.Чёрной и в 87 % проб, отобранных в р.Кача. Таким образом, чаще всего тяжёлые металлы фиксировались при анализе качества воды р.Кача, реже всего – в воде р.Бельбек. В апреле 1989 г. в воде р.Чёрной концентрация хрома шестивалентного превышала ПДК (табл.5).

Хлорорганические пестициды в воде рек практически не обнаружены, хотя они использовались в бассейнах рек. Содержание радионуклидов (цезий-134, цезий-137) в пределах $1,6 \cdot 10^{-13}$ – $3,6 \cdot 10^{-12}$ Ки / дм^3 (по данным Управления экоресурсов [4]).

Повышенное содержание ЗВ в речной воде приходилось на весенний и осенний периоды, когда выпадали осадки и проводились сельскохозяйственные работы. Ионы кадмия и свинца, начиная с 1996 г. в поверхностных водах отсутствовали.

Т а б л и ц а 5. Концентрация основных загрязняющих веществ.

ингредиент	характеристика	река		
		р.Бельбек – с.Фруктовое	р.Чёрная – с.Хмельницкое	р.Кача – с.Баштановка
медь, ПДК = 1,0 мкг/л	среднее	1,6	2,1	2,1
	максимум	6,2	5,0	6,2
	минимум	0,0	0,0	0,0
	C_v	1,2	0,7	0,7
	среднее	2,5	2,7	2,8
цинк, ПДК = 10 мкг/л	максимум	7,4	8,2	8,8
	минимум	0,0	0,0	0,0
	C_v	1,0	0,7	0,7
	среднее	4,1	4,2	4,0
хром шестива- лентный, ПДК = 1,0 мкг/л	максимум	30,0	53,0	25,0
	минимум	0,0	0,0	0,0
	C_v	1,7	1,9	1,4
	среднее	0,01	0,01	0,01
СПАВ, ПДК = 0,1 мг/л	максимум	0,07	0,07	0,08
	минимум	0,00	0,00	0,00
	C_v	1,8	2,0	2,1
	среднее	0,01	0,01	0,01
нефтепродукты, ПДК* = 0,05 мг/л	максимум	0,08	0,05	0,09
	минимум	0,00	0,00	0,00
	C_v	1,6	1,4	1,7
	среднее	0,00	0,00	0,00
фенолы, ПДК* = 0,001 мг/л	максимум	0,00	0,06	0,00
	минимум	0,00	0,00	0,00
	C_v	0,00	8,5	0,00
	среднее	0,00	0,00	0,00

П р и м е ч а н и е : ПДК приводятся для поверхностных вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования по токсикологическому лимитирующему показателю вредности; * – рыбохозяйственный лимитирующий показатель вредности.

По материалам «КрымНИОПРЕКТ» [5] гидробиологическое состояние водной среды в нижнем течении рек региона характеризуется как евтрофное (индекс сапробности по фитопланктону 2,6 – 2,9, отношение продукции к деструкции 1,1 – 1,3). По гидробиологическим показателям вода чаще всего бывает загрязнённой. Количество микроорганизмов в воде рек в среднем составляет 2,8 – 5,6 млн. кл./дм³, фитопланктона 2 – 7 тыс. кл./дм³, зоопланктона 700 – 1800 экз./м³ (6,8 – 13,8 мг/м³), макрофитов (проектное покрытие) 2 – 11 %, организмов-фильтраторов 80 – 100 экз./м².

В пробах, отобранных горСЭС в р.Черной, число микроорганизмов колебалось в зависимости от сезона года, а также и от температуры воды. Наименьшее количество микроорганизмов отмечалось зимой. Коли-индекс

Т а б л и ц а 6. Тенденции изменения качества воды рек Бельбек, Чёрная и Кача.

река – пункт	ингредиент, мг/л							
	$\Sigma_{\text{ионов}}$	NH_4	NO_2	PO_4	СПАВ	НП	взвесь	БПК ₅
р.Бельбек – с.Фруктовое	– 11,7	– 0,01	–	–	0,002	0,002	–	–
р.Чёрная – с.Хмельницкое	– 10,9	– 0,01	– 0,002	–	0,002	0,001	–	–
р.Кача – с.Баштановка	–	– 0,03	–	0,003	0,002	0,001	–	–

Примечание: – тенденций не обнаружено.

изменялся в течение года от нескольких сотен до нескольких тысяч, что является следствием постоянного поступления стоков в поверхностные воды. Ухудшение качества воды по микробиологическим показателям, которые контролируются в поверхностных водах, отмечалось в августе – октябре, т.е. в межень и в период дождей [5].

Тенденции качества воды. Исследование тенденций качества воды рек региона, выполненное по данным стационарных наблюдений сети Крымского РЦГМ за период с 1989 по 2008 гг., показало, что в последние годы сумма ионов в воде р.Кача остаётся без изменений, а в р.Чёрная и р.Бельбек – уменьшается (табл.6). Количество взвешенных веществ, БПК₅ и концентрация кремния значимых тенденций не имеют, уменьшается содержание соединений азота, а в р.Кача увеличивается концентрация фосфатов.

В воде всех рассматриваемых рек наметилось значимое увеличение концентрации СПАВ и НУ, т.е. возрастает антропогенное загрязнение водной среды. Содержание меди и цинка в период с 1989 по 2008 гг. стабилизировалось. В воде рек Бельбек и Чёрная уменьшается содержание хрома шестивалентного, в среднем на 0,5 – 0,6 мг/л, концентрация этого ингредиента в р.Кача значимо не изменяется, хотя отмечается её уменьшение на 0,37 мг/л в год.

Приводимые в табл.6 тенденции качества воды рек региона свидетельствуют об уменьшении вклада сельского хозяйства в загрязнение рек, т.к. содержание биогенных веществ в основном уменьшается, и увеличении загрязнения от автотранспорта и сбросов сточных вод населённых пунктов.

Сток веществ. Оценка стока растворённых веществ выполнена традиционным методом [2] по ежегодным данным (путём умножения среднего годового стока воды рек на среднюю концентрацию). Такая оценка даёт приближённые результаты, т.к. средняя годовая концентрация веществ получена из 2 – 4 измерений.

Средний сток растворённых химических веществ, рассчитанный по ежегодным данным как средний арифметический за период с 1989 по 2008 гг., представлен в табл.7.

Так как пункты стационарных наблюдений расположены в среднем течении рек, а ниже по течению имеются источники загрязнения, полученные значения могут быть заниженными. Для более корректного расчёта выноса реками загрязняющих веществ в море необходимо либо организовать специ-

Таблица 7. Средний за 1989 – 2008 гг. сток химических веществ, т/год.

река – пункт	химическое вещество										
	$\Sigma_{\text{ионов}}$	NH_4	NO_2	PO_4	СПАВ	НУ	SiO_3	Fe	Cu	Zn	$Cr(6)$
р.Бельбек – с.Фруктовое	32700	6,18	0,58	3,07	0,71	0,78	244	7,61	0,12	0,20	0,25
р.Чёрная – с.Хмельницкое	23900	5,04	0,24	2,46	0,47	0,63	171	5,08	0,14	0,18	0,17
р.Кача – с.Баштановка	17600	7,81	0,20	1,23	0,25	0,34	151	4,78	0,08	0,11	0,14
сумма	74300	19,0	1,02	6,76	1,43	1,75	566	17,5	0,34	0,49	0,56

Таблица 8. Расхождения значений стока химических веществ (%), рассчитанных разными методами.

река – пункт	химическое вещество										
	$\Sigma_{\text{ионов}}$	NH_4	NO_2	PO_4	СПАВ	НУ	SiO_3	Fe	Cu	Zn	$Cr(6)$
р.Бельбек – с.Фруктовое	– 3,7	– 32,1	– 8,6	6,5	– 0,7	5,9	3,7	– 67,3	0,9	5,9	– 29,4
р.Чёрная – с.Хмельницкое	– 2,1	– 25,0	– 68,7	– 13,3	15,1	6,7	2,2	– 8,8	10,4	8,7	– 36,9
р.Кача – с.Баштановка	– 12,6	– 7,4	– 6,0	– 1,5	– 9,6	– 9,1	11,8	– 7,5	7,7	2,3	– 41,6

Т а б л и ц а 9. Зависимости среднего годового стока химических веществ (W_p , т/год) от среднего годового расхода воды рек (Q , м³/с).

ингредиент					
сумма ионов	фосфаты	кремний	железо	медь	цинк
р.Бельбек – с.Фруктовое					
$W_p = 13787Q + 3623$	$W_p = 1,80Q - 0,80$	–	–	$W_p = 0,095Q - 0,043$	$W_p = 0,146Q - 0,075$
0,96	0,86	–	–	0,71	0,84
р.Чёрная – с.Хмельницкое					
$W_p = 13086Q + 985$	$W_p = 1,80Q - 0,92$	$W_p = 160Q - 134$	–	$W_p = 0,098Q - 0,045$	$W_p = 0,146Q - 0,076$
0,95	0,84	0,78	–	0,85	0,86
р.Кача – с.Баштановка					
$W_p = 13469Q + 2005$	$W_p = 1,49Q - 0,50$	$W_p = 295Q - 190$	$W_p = 5,55Q - 1,65$	$W_p = 0,122Q - 0,060$	$W_p = 0,145Q - 0,060$
0,96	0,88	0,82	0,84	0,85	0,86

альные наблюдения в створах вблизи верхней границы зоны смешения речных и морских вод, либо моделировать процессы переноса и трансформации растворённых веществ.

При расчёте стока веществ путём перемножения среднего стока воды за рассматриваемый период и средней арифметической концентрации соответствующего вещества, получаются значения, отличающиеся от приводимых в табл.7. Расхождения между результатами, представленными в этой таблице, и полученными при расчёте по норме стока и средней многолетней концентрации могут достигать существенных величин, и показаны в табл.8.

Очевидно, приближённая оценка среднего многолетнего стока химических веществ реками может быть получена любым из указанных методов только в 67 % случаев, когда расхождения между величинами в пределах 10 % (табл.8).

Результаты, полученные при расчёте стока веществ по нормам стока и концентрации, обычно (61 % случаев) больше, чем при расчёте выноса веществ как среднее арифметическое значение из средних годовых значений. Среднее превышение составляет 18 % (от – 0,7 до – 68,7 %). Сток НУ, кремния, меди и цинка (рассчитанный по нормам составляющих), наоборот, меньше в среднем на 6 %.

В связи с тем, что определения концентрации растворённых веществ выполняются эпизодически, а расход воды – систематически, при наличии достаточно тесной связи между стоком воды и стоком веществ, значение последнего можно определить по этой зависимости. Например, среднее многолетнее значение стока отдельных растворённых веществ может быть рассчитано по формулам, представленным в табл.9 и имеющим высокие коэффициенты корреляции (0,71 – 0,96).

Такие зависимости позволяют с высокой долей достоверности (76 – 98 %) определить средний годовой и средний многолетний сток растворённых веществ по значениям среднего расхода воды, восполнить пропуски в наблюдениях. Зависимости $W_p = aQ + b$ или другого вида для остальных ингредиентов не столь тесные, поэтому их нельзя использовать для расчётов.

Наиболее достоверные результаты получаются при расчёте стока главных ионов, т.к. его зависимость от стока рек практически однозначная.

Данный метод оценки стока растворённых веществ даёт результаты, в большинстве случаев близкие к полученным первым методом – путём осреднения средних годовых значений выноса веществ (табл.10).

Таким образом, в среднем за год (за период с 1989 по 2008 гг.) реки Севастопольского региона в рассматриваемых створах выносят: 77,8 тыс. т главных ионов; 3,4 тыс. т взвешенных веществ; 171 т азотистых соединений (в сумме); 148 т нитратов; 19 т аммонийного азота; 1 т нитритов; 7 т фосфатов; 16 т фосфора общего; 590 т кремния; около 18 т железа общего; 390 кг меди; 550 кг цинка; 560 кг хрома шестивалентного; 1,4 т СПАВ; 1,8 т НУ и др. ингредиентов.

Учитывая, что концентрация ЗВ ниже по течению рек может существенно отличаться от приводимой в табл.5, их сток на устьевое взморье требует уточнения и дополнительных исследований в устьевых областях рек Чёрная, Бельбек и Кача.

Т а б л и ц а 10. Оценка стока растворённых веществ разными методами, т/год.

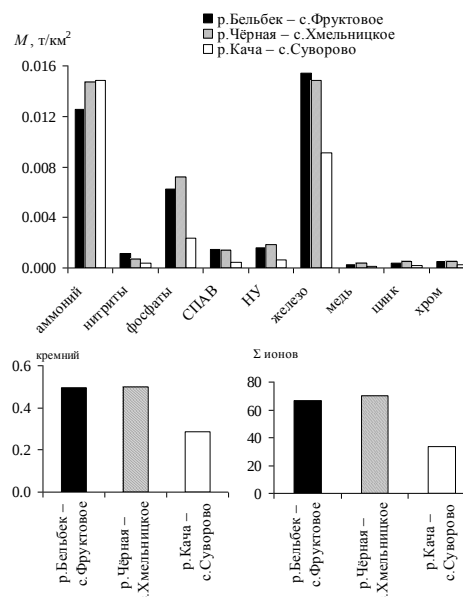
метод расчёта	ингредиент					
	сумма ионов	фосфаты	кремний	железо	медь	цинк
р.Бельбек – с.Фруктовое						
1	32700	3,07	244	7,61	0,12	0,20
2	35829	2,73	235	14,7	0,12	0,19
3	33265	3,07	–	–	0,16	0,24
р.Чёрная – с.Хмельницкое						
1	23900	2,46	171	5,08	0,14	0,18
2	24706	3,45	167	5,53	0,12	0,16
3	25456	2,45	165	–	0,14	0,19
р.Кача – с.Баштановка						
1	17600	1,23	151	4,78	0,08	0,11
2	19860	1,43	134	5,65	0,07	0,11
3	19111	1,39	185	5,40	0,09	0,12

Примечание: 1 – средний за период; 2 – рассчитанный по средним многолетним значениям; 3 – по зависимостям (табл.9).

Для сравнения стока растворённых веществ реками региона рассчитан модуль стока, характеризующий поступление веществ с каждого км² площади соответствующих водосборов. Результаты расчёта показаны на рис.3. Однако модуль стока веществ характеризует их поступление с площадей бассейнов, расположенных выше створов, где выполнялся анализ химического состава воды. А так как ниже этих створов поступление в реки растворённых веществ может отличаться от представленного на рис.3, распространять полученные величины модуля стока веществ на весь водосбор нельзя.

Выводы. Выполненный анализ химического состава воды рек Бельбек, Чёрная и Кача показал, что её качество можно улучшить при более строгом соблюдении природоохранного законодательства.

Только защита речных вод от загрязнения и их рациональное использование улучшат качество поверхностных вод и водообеспечение Севастополя, восстановят биоразнообразие рек, их устьевых областей и моря, что будет способствовать улучшению экологического состояния морских акваторий, а, следова-



Р и с . 3 . Средний за период с 1989 по 2008 гг. модуль стока растворённых веществ, т/км².

тельно, – повышению рекреационного потенциала региона.

Средняя концентрация растворённых веществ в воде рек региона в основном не превышает ПДК, что делает её особо ценным местным водным ресурсом, который до настоящего времени используется нерационально и загрязняется.

Сравнение химического состава воды рек (табл.1 – 5) показало идентичность её качества. Причём, вода р. Бельбек по ряду показателей даже чище, чем р.Чёрной – основного источника водоснабжения региона. Например, в воде р.Бельбек больше растворённого кислорода и меньше средняя концентрация фосфатов, меди и хрома шестивалентного.

Таким образом, удовлетворительное качество воды р.Бельбек может служить основанием для её использования в целях резервного водообеспечения Севастопольского региона.

Оптимизация сети мониторинга качества воды рек региона позволила бы более эффективно осуществлять контроль состояния пресных вод и выполнять оперативную и перспективную экологическую оценку водных ресурсов.

Решение проблем качества воды Севастопольского региона возможно при выполнении мероприятий плана действий, разработанного в рамках «Комплексной программы охраны окружающей природной среды, рационального использования природных ресурсов и экологической безопасности г.Севастополя на период до 2010 г.» [5], который до настоящего времени не выполнен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Миньковская Р.Я., Демидов А.Н.* Проблемы хозяйствования, проектирования и экспертизы мероприятий по предотвращению затопления и подтопления в устьевых областях рек юго-западного Крыма // *Екологічний вісник.*– 2002.– № 9-10.– С.27-30.
2. *Временные методические рекомендации по расчету выноса органических, биогенных веществ, пестицидов и микроэлементов речным стоком.*– М.: Гидрометеиздат, 1983.– 32 с.
3. *Овсяный Е.И., Романов А.С., Миньковская Р.Я., Красновид И.И., Цымбал И.М.* 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. *Миньковская Р.Я.* Качество воды рек Севастопольского региона // *Сб. научн. работ СЭС г. Севастополя.*– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2002.– вып.7.– С.34-40.
5. *Комплексная программа охраны окружающей природной среды, рационального использования природных ресурсов и экологической безопасности г. Севастополя на период до 2010 г.*– Севастополь, 2001.– 317 с.

Материал поступил в редакцию 30.09.2010 г.