

УДК 574:539.163

СОВРЕМЕННАЯ РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ, СВЯЗАННАЯ С РЕЖИМОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕВЕРО-КРЫМСКОГО КАНАЛА

© 2016 г. С. Б. Гулин^{1,*}, Н. Ю. Мирзоева¹, Г. Е. Лазоренко¹, В. Н. Егоров¹, А. В. Трапезников²,
И. Г. Сидоров¹, В. Ю. Проскурнин¹, В. Н. Поповичев¹, О. Н. Бей³, Е. А. Родина¹

¹Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

²Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

³Севастопольский государственный университет, Институт ядерной энергии и промышленности,
Севастополь, Россия

*e-mail: s.b.gulin@imbr-ras.ru

Поступила в редакцию 01.11.2015 г.

Обобщены результаты многолетних радиоэкологических исследований Северо-Крымского канала, который до апреля 2014 г. обеспечивал подачу в Крым днепровской воды. Показано, что после прекращения его работы содержание чернобыльских радионуклидов (т.е. ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr, поступление которых в водные экосистемы обусловлено аварией на Чернобыльской АЭС) в смежных водоемах заметно уменьшилось. Это может повлиять и на снижение уровня радиоактивного загрязнения прибрежных акваторий Черного моря, за исключением Каркинитского залива, куда в настоящее время сбрасывается избыток днепровской воды, подававшейся ранее в Крым.

Ключевые слова: Северо-Крымский канал, радиоактивное загрязнение, Черное море

DOI: 10.7868/S0869803116060059

Северо-Крымский канал (СКК) был построен в период с 1961 по 1971 гг. для обеспечения устойчивого водоснабжения юга Украины и Крыма. Он берет свое начало в низовье Каховского водохранилища — конечного в каскаде из шести искусственных водоемов, построенных вдоль русла р. Днепр [1, 2]. Ширина канала в его начальной точке составляет около 150 м, а глубина — 7 м. Общая протяженность основного русла СКК от Каховского водохранилища до Керчи равна 403 км, что делало его самым длинным каналом в Европе. Среднегодовой сток СКК достигал 380 м³/с, максимальный — до 500 м³/с. Это составляло примерно 30% общего стока Днепра в его нижнем течении [1, 2]. Из данного объема около 60–80 м³/с использовалось на сельскохозяйственные нужды юго-западных районов Херсонской области и еще 300–320 м³/с поступало в Крым.

Северо-Крымский канал имел две главные ветки (рис. 1) — восточную, идущую до Керчи, и западную, используемую в основном для орошения сельскохозяйственных угодий северо-западной части Крыма, общая площадь которых составляла до недавнего времени более 400 тыс. га [3]. В целом, для нужд сельского хозяйства в Крыму использовалось около 80% воды, поступающей по СКК, в том числе 60% уходило на обеспечение

выращивания риса. Кроме того, до апреля 2014 г. Северо-Крымский канал питал 11 искусственных водоемов Крыма, общий объем которых составляет около 200 млн м³. Вода из этих водохранилищ подается в Симферополь, Феодосию, Судак, Керчь и ряд других населенных пунктов.

В апреле 2014 г. подача днепровской воды в Крым по Северо-Крымскому каналу была полностью прекращена из-за сложившейся геополитической ситуации. Это вызвало серьезные осложнения с водоснабжением полуострова, особенно его северных территорий, где ранее осуществлялось интенсивное орошаемое земледелие, включая производство риса. Ожидаются и более отдаленные экологические последствия, в том числе — позитивные, поскольку известно, что днепровская вода, поступающая в Крым, в значительной степени загрязнена стоками многочисленных населенных пунктов, промышленных предприятий и сельскохозяйственных угодий, расположенных в Приднепровье. Кроме того, водосборный бассейн Днепра непосредственно примыкает к зоне аварии на Чернобыльской АЭС, вследствие которой содержание техногенных радионуклидов в днепровской воде в 1986–1987 гг. было превышено примерно в 100 раз по сравнению с доаварийным уровнем [4–14]. Все

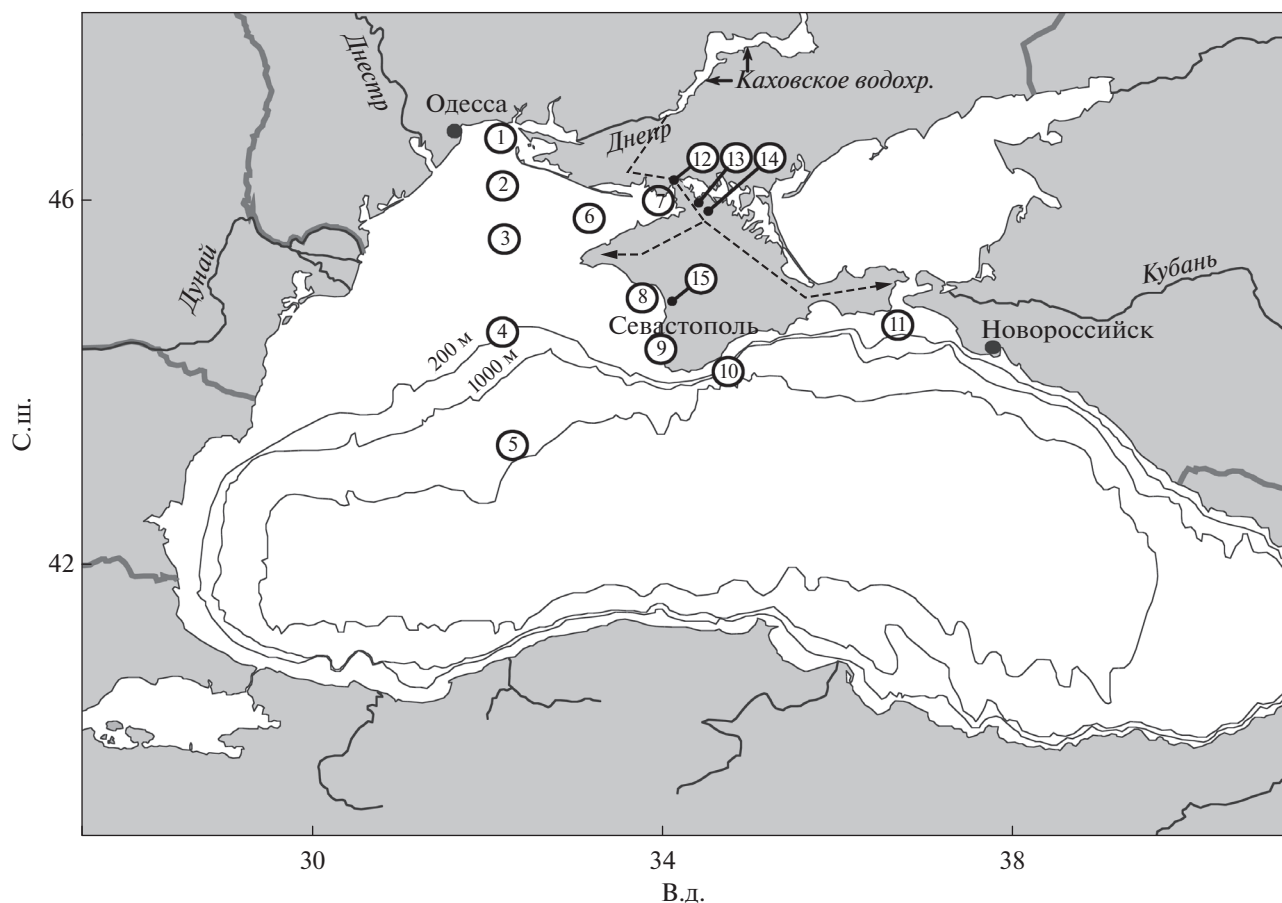


Рис. 1. Расположение станций отбора проб на территории Крыма и в Черном море (см. описание в таблице). Пунктирными линиями схематично показано русло Северо-Крымского канала, берущее свое начало в Каховском водохранилище.

это говорит о необходимости всесторонней оценки последствий прекращения подачи днепровской воды по Северо-Крымскому каналу, включая его роль в качестве источника радиоактивного загрязнения Крыма и прилегающих к нему акваторий Черного моря.

Целью данной работы было обобщение результатов многолетних радиозоологических исследований Северо-Крымского канала в сравнении с данными, полученными нами в 2014 г. после прекращения подачи в Крым днепровской воды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В работе использованы результаты многочисленных измерений содержания техногенных радионуклидов (^{137}Cs и ^{90}Sr) в Северо-Крымском канале и на прилегающих территориях, полученные в 1986–2014 гг. сотрудниками Отдела радиационной и химической биологии Института морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН (бывший Институт биологии

южных морей им. А.О. Ковалевского, Севастополь) в содружестве с Отделом континентальной радиозоологии Института экологии растений и животных Уральского отделения РАН. Обширные радиозоологические исследования проводили также в прибрежных акваториях Черного моря у мыса Тарханкут (северо-западная часть Крыма) и у Керченского пролива (юго-восточный Крым), в наибольшей степени подверженных стоку Северо-Крымского канала. Для сравнения были использованы данные по содержанию черноморских радионуклидов (здесь и далее — ^{137}Cs и ^{90}Sr , поступление которых в водные экосистемы обусловлено аварией на Чернобыльской АЭС) в северо-западной части Черного моря, полученные нами в 2011–2013 гг., а также в водопроводной системе Севастополя, не связанной с СКК.

Измерения выполнялись по методикам и на оборудовании, прошедшем интеркалибровку под эгидой МАГАТЭ. Определение ^{90}Sr и ^{137}Cs в исследуемых объектах проводили радиохимическим методом [15–17]. β -Активность ^{90}Sr измерялась по черенковскому излучению его дочернего

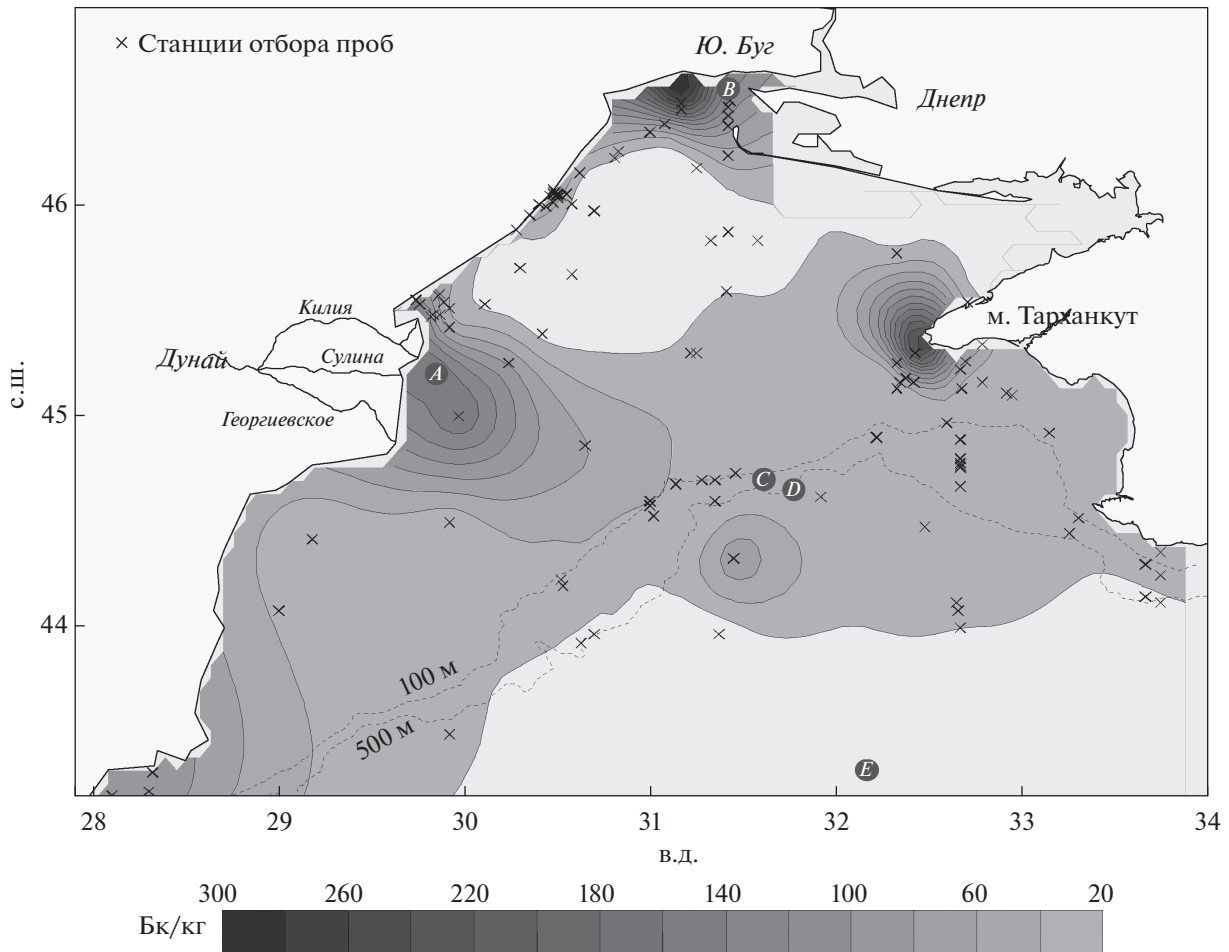


Рис. 2. Распределение ^{137}Cs в поверхностном слое донных отложений северо-западной части Черного моря после аварии на Чернобыльской АЭС; А–Е – точки многолетнего радиоэкологического мониторинга ОРХБ ИМБИ; в светлосерой зоне на карте обозначены донные осадки, в которых содержание ^{137}Cs было меньше 20 Бк/кг.

радионуклида – ^{90}Y на низкофономом жидкостно-сцинтилляционном анализаторе “Quantulus-1220” (LKB Wallac, Финляндия), нижний предел определяемой активности составлял 0.01–0.04 Бк/кг (Бк/м³) пробы, относительная погрешность не превышала 20%. Содержание ^{137}Cs измеряли с использованием гамма-спектрометра “1282-CompuGamma CS” (LKB Wallac, Финляндия) с NaI(Tl) сцинтилляционным детектором, а также торцевых полупроводниковых гамма-детекторов Canberra-Packard XtRa GX2019 и ORTEC GMX-10 (США), с относительной эффективностью 16–23%, выполненных на основе кристаллов сверхчистого германия. Анализ полученных γ -спектров проводили с помощью анализатора Canberra-Packard MCA S100, System 100 [15–17].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В 1986–1995 гг. нами были выполнены исследования, цель которых заключалась в оценке

вклада оросительной системы СКК в миграцию послеаварийных ^{90}Sr и ^{137}Cs из днепровской воды [18–22]. Полученные результаты позволили установить, что около 70% ^{137}Cs , поступившего с днепровской водой по западной ветке СКК, аккумуляровалось на орошаемых территориях, а оставшаяся часть выносилась вместе со сбросными водами в Каркинитский залив [23]. Значимость этого сброса для радиоактивного загрязнения прибрежных акваторий Крыма была показана при изучении пространственного распределения ^{137}Cs в донных отложениях, отобранных в 1992–1995 гг. в северо-западной части Черного моря, включая приустьевые зоны Дуная и Днепра, континентальный склон и глубоководный бассейн Черного моря [24, 25]. Наиболее загрязненными оказались донные осадки вблизи дельты Дуная и Днепро-Бугского лимана (рис. 2), что отражает роль этих самых крупных рек черноморского региона в поступлении чернобыльских радионуклидов в Черное море. Вместе с тем, столь же высо-

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде Черного моря, Северо-Крымского канала и соленых озерах Крыма в 2011–2014 гг.

№ п/п	С.ш.	В.д.	Глубина, м	^{137}Cs , Бк/м ³	^{90}Sr , Бк/м ³	Расположение в Черном море
1	46° 26.8′	31°23.1′	14	14.9 ± 1.1	32.1 ± 2.2	р-н Днепро-Бугского лимана
2	46° 02.9′	31°32.1′	20	–	14.2 ± 1.4	СЗ шельф
3	45° 37.2′	31°38.1′	45	15.2 ± 0.5	7.6 ± 1.4	СЗ шельф
4	44° 40.7′	31°51.7′	698	–	11.0 ± 1.4	СЗ материковый склон
5	43° 20.0′	32°09.7′	2040	16.8 ± 1.0	10.8 ± 1.3	Западный глубоководный бассейн
6	45° 46.6′	32°14.4′	31	–	6.7 ± 1.3	Каркинитский залив
7	45° 55.4′	33°16.2′	11	–	13.1 ± 1.7	Каркинитский залив
8	45° 09.2′	33°06.9′	45	–	9.8 ± 1.3	Траверз Евпатории
9	44° 36.9′	33°30.2′	20	12.8 ± 0.2	13.0 ± 1.2	Внешний рейд Севастополя – июнь 2011 г.
10	44° 26.5′	34°13.8′	87	–	22.1 ± 1.7	Траверз Ялты
11	44° 57.0′	36°26.0′	36	56.1 ± 1.1	23.1 ± 1.9	Прикерченский р-н
12	46° 07.1′	33°41.4′	0.5	–	54.9 ± 2.7	СКК (г. Армянск) – июль 2012 г.
13.1	46° 00.1′	33°56.7′	0.5	–	350.1 ± 15.8	оз. Киятское – февраль 2013 г.
13.2	46°00.1′	33°56.7′	0.5	–	98.0 ± 5.2	оз. Киятское – май 2014 г.
14	45° 57.6′	34°01.3′	0.5	–	121.3 ± 7.1	оз. Кирлеутское – май 2014 г.
15	45°04.0′	33°37.8′	0.5	–	9.6 ± 1.8	оз. Кызыл-Яр – май 2014 г.

Примечание: С.ш. – северная широта; В.д. – восточная долгота; СКК – Северо-Крымский канал; СЗ – северо-запад. Отбор проб на станциях 1–11 выполнен в августе 2011 г.; номера станций соответствуют их обозначению на рис. 1.

кие концентрации ^{137}Cs (> 200 Бк/кг сухой массы) были обнаружены и в донных осадках у мыса Тарханкут, расположенного в северо-западной части Крымского полуострова и отделяющего акваторию Каркинитского залива от основной части шельфа Черного моря (рис. 2).

Сравнение содержания ^{90}Sr в донных отложениях, отобранных у входа воды на поливные участки и в точке ее сброса с орошаемых сельскохозяйственных угодий в Каркинитский залив Черного моря, показало, что значительная часть ^{90}Sr (до 58%) сорбируется почвами и накапливается произрастающими на них сельскохозяйственными растениями, становясь, таким образом, главным фактором их радиоактивного загрязнения [26]. Причем, наибольшая концентрация ^{90}Sr (до 20 Бк/кг сухой массы) была отмечена в затопляемых почвах под рисом, что объясняется особенностью техники его культивирования. Для сравнения, на поливных землях, используемых для выращивания кукурузы, содержание ^{90}Sr в поверхностном слое почвы не превышало 5–7 Бк/кг сухой массы [26].

В меньшей степени изучено влияние сброса днепровской воды в Черное море из основного, магистрального русла Северо-Крымского канала, впадающего в Керченский пролив на юго-востоке Крыма (рис. 1). Однако и в этом районе в нача-

ле 1990-х годов нами было отмечено повышенное загрязнение поверхностного слоя донных осадков ^{137}Cs , которое достигало 50–70 Бк/кг сухой массы, что в 2–3 раза превышало уровни содержания данного радионуклида в смежных акваториях Черного моря [24]. Повышенные концентрации черноморских радионуклидов в прикерченском районе Черного моря отмечались нами и в более поздний период [11]. Так в 2011 г. было обнаружено достаточно высокое содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в поверхностной черноморской воде, отобранной вблизи Керченского пролива (таблица 1). В июле 2012 г., т.е. в период, когда расход воды в СКК максимален [23], были проведены измерения концентрации ^{90}Sr в днепровской воде, отобранной непосредственно из магистрального русла Северо-Крымского канала. Получено, что концентрация этого радионуклида в данной точке (см. рис. 1) была в 3.7 раза выше, чем средние значения для поверхностных вод Черного моря, измеренные нами в 2011–2013 гг. (таблица).

Для оценки последствий прекращения поступления в Крым днепровской воды из Северо-Крымского канала нами в мае 2014 г. было определено содержание послеаварийного ^{90}Sr в двух соленых озерах северной части Крыма – Киятском и Кирлеутском, расположенных вблизи СКК (рис. 1) и связанных с ним за счет дренажа

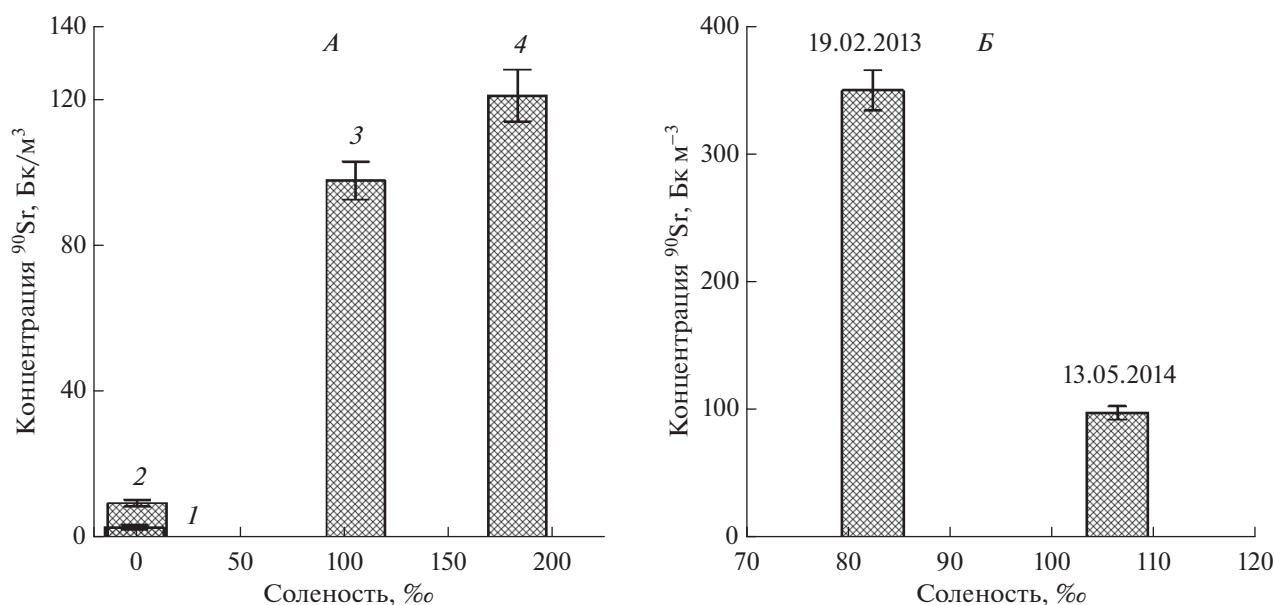


Рис. 3. Содержание ⁹⁰Sr в воде.

А – измерения выполнены в мае 2014 г.; *1* – водопроводная вода г. Севастополь, *2, 3, 4* – соленые озера Крыма: Кызыл-Яр, Киятское и Кирлеутское соответственно.

Б – измерения выполнены в 2013 и 2014 гг., оз. Киятское.

подземных вод. Ранее, в феврале 2013 г., мы обнаружили в этих озерах достаточно высокие уровни содержания ⁹⁰Sr в воде – до 350 Бк/м³ [27]. Исследования 2014 г., выполненные после прекращения подачи днепровской воды по СКК, показали, что концентрация этого чернобыльского радионуклида в озере Киятское снизилась более чем в 3 раза, хотя и оставалась все еще достаточно высокой – 100–120 Бк/м³ (таблица). Для сравнения, это на порядок выше, чем в слабосоленом оз. Кызыл-Яр, расположенном на значительном расстоянии от Северо-Крымского канала (рис. 1, 3). Возможно, однако, что в данном случае сказывается не только его удаленность от СКК, но и фактор концентрирования радионуклидов за счет более интенсивного испарения воды в первых двух озерах, Киятском и Кирлеутском, в которых по этой причине соленость намного выше, чем в оз. Кызыл-Яр (рис. 3, *А*). С другой стороны, измерения концентрации ⁹⁰Sr в воде оз. Киятское, выполненные нами до и после прекращения подачи днепровской воды по Северо-Крымскому каналу, показали, что испарение имело, по-видимому, существенно меньшее значение, чем дренаж воды из СКК, поскольку соленость в этом озере в мае 2014 г. (т.е. через месяц после перекрытия канала) возросла примерно на 30% по сравнению с соленостью, зарегистрированной в феврале 2013 г., тогда как концентрация ⁹⁰Sr уменьшилась за этот период более чем в 3.5 раза (рис. 3, *Б*).

ОБСУЖДЕНИЕ

Радиоэкологические исследования, выполненные после аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС), показали, что в июле 1986 г. концентрация ⁹⁰Sr в воде Каховского водохранилища определялась первичными атмосферными выпадениями чернобыльских радионуклидов в данном регионе и изменялась в диапазоне 20–98 Бк/м³, тогда как в доаварийный период она не превышала 7–11 Бк/м³ [13, 14, 28–30]. Весной 1987 г. концентрация ⁹⁰Sr в воде Каховского водохранилища и Нижнего Днепра резко увеличилась и достигла 740–925 Бк/м³, что было обусловлено поступлением растворенного радионуклида водным путем из аварийного района по каскаду Днепровских водохранилищ [26]. Это отразилось и на радиоактивном загрязнении воды в Северо-Крымском канале. До аварии на ЧАЭС концентрация ⁹⁰Sr в воде СКК была в пределах от 4 до 7 Бк/м³ [29], а сразу после нее она возросла до 50–60 Бк/м³. В 1987 г. концентрация ⁹⁰Sr в воде СКК возросла еще больше – почти в 9 раз, по сравнению с 1986 г., а в последующие годы – с 1992 по 1995 гг. средняя концентрация ⁹⁰Sr на входе в СКК достигла 217 Бк/м³ [26, 29, 31]. Столь значительное и пролонгированное увеличение содержания послеаварийного радионуклида в воде Северо-Крымского канала было обусловлено приходом в его русло загрязненных вод из верховьев р. Днепр и ее водосборного бассейна, находящегося в непосредственной близости от зоны ЧАЭС.

В целом, количество ^{90}Sr , поступившего с водой СКК из Каховского водохранилища на территорию Херсонской области и Крыма в 1986 г., составило примерно 170 ГБк, а в последующие годы (до 1992 г.) оно увеличилось в 3.5–6 раз [14]. По нашим расчетам, за период 1986–1995 гг. с днепровскими водами на орошаемые земли юга Украины и в Крым поступило 5570 ГБк ^{90}Sr , что составило примерно 7% от суммарного количества этого радионуклида, вынесенного из Днепра в Черное море после аварии на ЧАЭС [26]. За этот же период в магистральное русло СКК из Каховского водохранилища поступило 674 ГБк ^{137}Cs , из них 506 ГБк – на поливные сельхозугодия Херсонской области и Крыма.

Значительное содержание чернобыльского ^{137}Cs у мыса Тарханкут, удаленного от приустьевых зон рек (рис. 2), стало, очевидно, результатом активной ирригации северо-западного Крыма днепровской водой, поступающей по западной ветке Северо-Крымского канала и сбрасываемой затем в Каркинитский залив.

Достаточно высокие концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs , определенные в 2011 г. в поверхностной черноморской воде, отобранной вблизи Керченского пролива (таблица), не могли быть связаны с поступлением чернобыльских радионуклидов из Азовского моря. По данным Г.Г. Матишова и М.В. Буфетовой [32], концентрация ^{90}Sr в азовской воде снизилась к 2000 г. до 9.6 ± 3.8 Бк/м³, а ^{137}Cs – до 2.5 ± 2.4 Бк/м³, т.е. уже тогда она была значительно меньше, чем средние значения, определенные нами в Черном море в 2011 г. (15 ± 8 и 23 ± 18 Бк/м³ соответственно, см. табл.). В связи с этим можно заключить, что повышенное содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в прикерченском районе Черного моря обусловлено поступлением в него днепровской воды по основному руслу Северо-Крымского канала. Для дополнительной проверки этого предположения нами в июле 2012 г., т.е. в период, когда расход воды в СКК максимален [23], были проведены измерения концентрации ^{90}Sr в днепровской воде, отобранной непосредственно из магистрального русла Северо-Крымского канала. Оказалось, что концентрация этого радионуклида в данной точке (см. рис. 1) была в 3.7 раза выше, чем средние значения для поверхностных вод Черного моря, полученные нами в 2011–2013 гг. (таблица). Важно также отметить, что влияние стока днепровской воды, поступающей через магистральное русло СКК в прикерченский район Черного моря, на содержание чернобыльских радионуклидов в водной толще прибрежных акваторий прослеживалось на достаточно большом расстоянии от Керченского пролива – вплоть до Ялты, расположенной на 195 км западнее (таблица), куда вода из района Керченского пролива переносится основным

черноморским течением, протекающем вдоль всей периферии глубоководного бассейна Черного моря в циклоническом направлении (т.е. против часовой стрелки).

В целом, рассмотренные выше данные свидетельствуют о том, что вынос чернобыльских радионуклидов, прежде всего – ^{90}Sr , из бассейна р. Днепр в Черное море продолжается до настоящего времени – как по основному руслу этой реки (см. величину концентрации ^{90}Sr у Днепро-Бугского лимана в таблице), так и по отходящему от него Северо-Крымскому каналу (см. в таблице концентрацию ^{90}Sr и ^{137}Cs в прикерченском районе).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, поступление днепровской воды по Северо-Крымскому каналу являлось до апреля 2014 г. существенным фактором загрязнения техногенными радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr обширных орошаемых территорий Крымского полуострова, а также прибрежных акваторий Черного моря, прежде всего – Каркинитского залива и прикерченского взморья. В связи с этим можно предположить, что использование в качестве альтернативного источника внешнего водоснабжения Крыма, например, воды из р. Кубань, в которой содержание чернобыльских радионуклидов на порядок ниже, чем в днепровской [32], могло бы способствовать достаточно быстрому снижению уровня радиоактивного загрязнения водоемов Крыма и его прибрежных морских акваторий. Это, очевидно, относится и к целому ряду химических токсикантов, уровень которых в днепровской воде нередко достигает критических значений [12].

С другой стороны, после прекращения подачи днепровской воды в Крым по СКК ее избыток стал сбрасываться с территории Херсонской области в Каркинитский залив Черного моря, в котором существуют уникальные донные биоценозы, например, всемирно известное поле красной водоросли филофора. В этой связи предстоит выяснять, каким образом отразится резкое распреснение воды в Каркинитском заливе на его гидрологическом и гидрохимическом режиме, заилении дна, состоянии флоры и фауны.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований – грант № 15-38-50901 (конкурс научных проектов, выполняемых молодыми учеными под руководством кандидатов и докторов наук в научных организациях Российской Федерации в 2015 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов А.А. Гидрография СССР (Воды суши). Л.: Гидрометеиздат, 1964. 535 с.
2. Денисова А.И., Тимченко В.М., Нахшина Е.П. и др. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. Киев: Наук. думка, 1989. 216 с.
3. Грезе В.Н., Поликарпов Г.Г., Романенко В.Д. Природа Украинской ССР. Моря и внутренние воды / Под ред. В.Д. Романенко. Киев: Наук. думка, 1987. 224 с.
4. Polikarpov G.G., Kulebakina L.G., Timoshchuk V.I. et al. ^{90}Sr and ^{137}Cs in surface waters of the Dnepr River, the Black Sea and the Aegean Sea in 1987 and 1988 // J. Environ. Radioact. 1991. V. 13. P. 25–28.
5. Polikarpov G.G., Livingston H.D., Kulebakina L.G. et al. Inflow of Chernobyl ^{90}Sr to the Black Sea from the Dnepr River // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 1992. № 34. P. 315–320.
6. Трапезников А.В., Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Трапезникова В.Н. Миграция радионуклидов в пресноводных и наземных экосистемах. Т. II. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2007. 400 с.
7. Трапезников А.В. ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239, 240}\text{Pu}$ в пресноводных экосистемах. Екатеринбург: АкадемНаука, 2010. 510 с.
8. Egorov V.N., Povinec P.P., Polikarpov G.G. et al. ^{90}Sr and ^{137}Cs in the Black Sea after the Chernobyl NPP accident: inventories, balance and tracer applications // J. Environ. Radioact. 1999. V. 43. P. 137–155.
9. Egorov V.N., Gulin S.B., Polikarpov G.G., Osvath I. Black Sea // Radionuclides in the Environment / Ed. D.A. Atwood. Chichester (UK): John Wiley & Sons, Ltd, 2010. P. 430–452.
10. Gulin S.B., Polikarpov G.G., Martin J.-M. Geochronological reconstruction of ^{137}Cs transport from the Coruh river to the SE Black Sea: comparative assessment of radionuclide retention in the mountainous catchment area // Continen. Shelf Res. 2003. № 23. P. 1811–1819.
11. Gulin S.B., Mirzoyeva N. Yu., Egorov V.N. et al. Secondary radioactive contamination of the Black Sea after Chernobyl accident: recent levels, pathways and trends // J. Environ. Radioact. 2013. V. 124. P. 50–56.
12. Романенко В.Д., Гродзинский Д.М. Радиоактивное и химическое загрязнение Днепра и его водохранилищ после аварии на Чернобыльской АЭС. Киев: Наук. думка, 1992. 193 с.
13. Polikarpov G.G. Agricultural counter-measures applied in the contaminated zone around the NPP Chernobyl // Proc. Working Party “Agricultural counter-measures applied following an accidental release of radionuclides”, 19–24 June 1989. Liege (France), 1989. P. 33–62.
14. Кулебакина Л.Г. Миграция радионуклидов из чернобыльской зоны в мелиоративные системы юга Украины // Мат. нац. конф. “Радиоэкологические и экономико-правовые аспекты землепользования после аварии на Чернобыльской АЭС”, 27–30 марта 1991 г., Киев: СОПС АНУ, 1991. С. 179–183.
15. Harvey B.K., Ibbett R.D., Lovett M.B. et al. Analytical procedures for the determination of strontium radionuclides in environmental materials // Aquatic Environmental Protection: Analytical Methods. Lowestoft, 1989. 33 p.
16. Мирзоева Н.Ю., Кулебакина Л.Г. Методика радиохимического определения ^{90}Sr в объектах окружающей среды / Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова и В.Н. Егорова. Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ–Гидрофизика”, 2008. С. 56–61.
17. Стокозов Н.А. Методика определения радионуклидов цезия в объектах окружающей среды / Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова и В.Н. Егорова. Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ–Гидрофизика”, 2008. С. 62–70.
18. Поликарпов Г.Г., Лазоренко Г.Е., Коротков А.А. и др. Роль взвешенного вещества и донных отложений водной экосистемы Северо-Крымского канала в миграции ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ // Докл. НАН Украины. 1995. № 7. С. 70–75.
19. Рисик Н.С., Поликарпов Г.Г., Кулебакина Л.Г. и др. Радиоактивное загрязнение Крыма после аварии на ЧАЭС // Мат. междунар. семинара “Радиоэкология: успехи и перспективы”, 3–7 октября 1994 г., Севастополь. Севастополь: ИнБЮМ, 1996. С. 108–109.
20. Lazorenko G.E. The distribution of chemical elements and caesium-137 in the Northern-Crimean Canal ecosystem // Proc. Latvian Academy of Sciences, Section B: Natural, Exact and Applied. Sciences. 1998. V. 52. Suppl. P. 262–265.
21. Лазоренко Г.Е. Закономерности распределения ^{137}Cs чернобыльского происхождения в зоне орошения Северо-Крымского канала // Proc. Int. conf. “Natural and nuclear anomalies and life protection”, 25–26 Sept. 1998. Vilnius, 1998. P. 15–25.
22. Лазоренко Г.Е. Молисмологическое исследование водной экосистемы Северо-Крымского канала // Чтения памяти Н.В. Тимофеева-Ресовского. Севастополь: ИнБЮМ, 2000. С. 100–107.
23. Поликарпов Г.Г., Лазоренко Г.Е., Терещенко Н.Н. и др. Вклад оросительной системы Северо-Крымского канала в перенос радионуклидов цезия, плутония и америция с днепровскими водами в Каркинитский залив Черного моря // Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова и В.Н. Егорова. Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ–Гидрофизика”, 2008. С. 185–206.
24. Gulin S.B., Aarkrog A., Polikarpov G.G. et al. Chronological study of ^{137}Cs input to the Black Sea deep and shelf sediments // Radioprot. 1997. 32. NC2. P. 257–262.
25. Gulin S.B., Polikarpov G.G., Egorov V.N. et al. Radioactive contamination of the north-western Black Sea sediments // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2002. V. 54. P. 541–549.
26. Мирзоева Н.Ю., Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н. ^{90}Sr в компонентах водных экосистем ближней зоны Чернобыльской АЭС и юга Украины // Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова и В.Н. Егорова. Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ–Гидрофизика”, 2008. С. 129–168.

27. *Mirzoyeva N., Gulin S., Plotisina O. et al.* Radiochemical monitoring of the salt lakes of the Crimea // *Acta Geologica Sinica (Engl. Ed.)*. 2014. V. 88 (supp. 1). P. 155–157.
28. *Винцукевич Н.В., Томилин Ю.А.* Распределение радионуклидов в водной среде (пруд-охладитель АЭС – река – морской лиман) // *Экология*. 1987. № 6. С. 71–74.
29. *Кузьменко М.И., Волкова Е.Н., Кленус В.Г. и др.* Пространственно-временное распределение радионуклидов и их воздействие на биосистемы Днепра и его водохранилищ // *Мат. междунар. семинара “Радиоэкология: успехи и перспективы”*, 3–7 октября 1994 г., Севастополь. Севастополь: ИнБЮМ, 1996. С. 110–114.
30. *Кузьменко М.И., Гудков Д.И., Куреев С.И. и др.* Техногенные радионуклиды в пресноводных экосистемах / Под ред. В.Д. Романенко. Киев: Наук. думка, 2010. 263 с.
31. *Мирзоева Н.Ю.* Миграция ^{90}Sr в пресноводных экосистемах ближней зоны ЧАЭС и Юга Украины // *Мат. междунар. семинара “Радиоэкология: успехи и перспективы”*, 3–7 октября 1994 г., Севастополь. Севастополь: ИнБЮМ, 1996. С. 163–169.
32. *Матишов Г.Г., Буфетова М.В.* ^{90}Sr и ^{137}Cs в Азовском море после аварии на Чернобыльской АЭС // *Докл. РАН*. 2002. Т. 383. С. 1–3.

Contemporary Radiological Situation Related to Regime of the Functioning of the North-Crimean Canal

S. B. Gulin^{1,*}, N. Yu. Mirzoyeva¹, G. E. Lazorenko¹, V. N. Egorov¹, A. V. Trapeznikov², I. G. Sidorov¹, V. Yu. Proskurnin¹, V. N. Popovichev¹, O. N. Bey³, E. A. Rodina¹

¹*A. O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research, Russian Academie of Sciences, 299011 Sevastopol, Russia*

²*Institute of Plant and Animal Ecology Ural Branch, Russian Academie of Sciences, Yekaterinburg, Russia*

³*Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, Sevastopol, Russia*

*e-mail: s.b.gulin@imbr-ras.ru

The results of the long-term radioecological studies of the North-Crimean Canal (NCC), which supplied water of the Dnieper River to the Crimea before April 2014, are summarized. It is shown that after the termination of the NCC operation the concentration of the Chernobyl-derived radionuclides (i.e. ^{137}Cs and ^{90}Sr , whose input to the aquatic ecosystems was caused by the Chernobyl accident) in the adjacent water bodies has considerably decreased. This can also affect the reduction in the level of contamination of the Black Sea coastal waters, except the Karkinitsky Bay, whereto the excess of Dnieper water, which was earlier supplied to the Crimea, is currently dumped.