

УДК 556.314

## ЦЕЗИЙ-137 В СОЛЕННЫХ ОЗЕРАХ КРЫМА<sup>1</sup>

© 2019 г. О. Н. Мирошниченко<sup>1,\*</sup> Н. Ю. Мирзоева<sup>1</sup>,  
И. Г. Сидоров<sup>1</sup>, С. Б. Гулин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН,  
Россия 299011 Севастополь  
\*e-mail: oksaniya\_89@mail.ru

Поступила в редакцию: 09.02.2017 г.

После доработки: 27.04.2017 г.

Принята к печати: 29.06.2017 г.

Исследовано содержание техногенного радионуклида <sup>137</sup>Cs в разных группах соленых озер Крымского п-ова. Установлено, что одним из основных источников поступления в них <sup>137</sup>Cs является Северо-Крымский канал, который до 2014 г. приносил в Крым днепровскую воду с высоким содержанием радионуклидов чернобыльского происхождения. Другой источник поступления <sup>137</sup>Cs – воды Черного моря за счет их дренажной и прямой связи с прибрежными солеными озерами Крыма, в которых наблюдалась положительная корреляция между концентрацией <sup>137</sup>Cs и соленостью воды.

*Ключевые слова:* Крым, соленые озера, <sup>137</sup>Cs.

**DOI:** 10.31857/S0321-0596463298-302

### ВВЕДЕНИЕ

Соленые озера Крыма имеют важное бальнеологическое, промышленное (добыча соли) и рекреационное значение. В работе объектами исследования были 11 соленых озер Крыма:

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания ИМБИ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (AAAA-A18-118020890090-2)

Красное, Кирлеутское, Киятское (Перекопская группа), Тобечикское, Акташское, Чокракское (Керченская группа), Бакальское, Джарылгач (Тарханкутская группа), Кызыл-Яр, Мойнакское, Сасык-Сиваш (Евпаторийская группа) [1, 9]. Карта расположения озер представлена на рис. 1.

Ранее проведены исследования по определению содержания техногенных радионуклидов, прежде всего <sup>90</sup>Sr, в воде, донных отложениях



Рис. 1. Карта соленых озер п-ова Крым.

и гидробионтах озер Перекопской [5, 7, 15, 16], Тарханкутской (озера Бакальское, Донузлав) [16] и Евпаторийской (оз. Кызыл-Яр) групп [16]. Показано, что дополнительным источником радиоактивного загрязнения соленых озер Крыма до 2014 г. было поступление через Северо-Крымский канал днепровских вод, отличающихся повышенным содержанием чернобыльских радионуклидов [5]. Кроме того, в ряде работ исследовано вертикальное распределение природных ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ) радионуклидов в донных отложениях прибрежной зоны соленого оз. Кояшского (Керченская группа) [6, 16].

Вместе с тем соленые озера Крыма все еще недостаточно изучены в отношении содержания в них антропогенных радионуклидов, в частности долгоживущего  $^{137}\text{Cs}$  (период полураспада 30.17 лет).

Цель настоящей работы – получение сравнительной оценки уровней содержания радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в воде различных групп соленых озер Крыма.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Пробы воды объемом ~100 л отобраны сотрудниками Отдела радиационной и химической биологии Института морских биологических исследований (ИМБИ) им. А.О. Ковалевского РАН в июне–июле 2016 г. в соленых озерах Крыма (табл. 1).

Воду фильтровали через мембранные фильтры Millipore диаметром 293 мм и номинальным размером пор 0.45 мкм для удаления взвешенного вещества. Затем проводили сорбционное извлечение  $^{137}\text{Cs}$  с использованием установки, состоящей из двух последовательно соединенных адсорберов, заполненных сыпучим сорбентом. Этот неорганический композиционный сорбент представляет собой полученную химическим методом из водных растворов тонкую пленку смешанного ферроцианида железа–калия на носителе – делигнифицированной древесной муке. Примерный состав пленки:  $\text{K}_{(0.2-1.8)}\text{FeO}[\text{Fe}_{(0.3-0.7)}(\text{CN})_{1.8-4.2}]$ . Марка – ЖКФ-Ц [4].

Воду прокачивали через адсорберы с помощью перистальтического насоса (Elpan 372.C, Польша) со скоростью 0.055 л/мин, при которой эффективность извлечения  $^{137}\text{Cs}$  составляла от 50 до 90% [3]. Затем сорбент извлекали из адсорберов, озоляли в муфельной печи при температуре 400°C для уменьшения объема и проводили радиометрические измерения с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра COMPUGAMMA (LKB Wallac, Финляндия). Эффективность извлечения  $^{137}\text{Cs}$  определялась по формуле:

$$A = 1 - \frac{A_{II}}{A_I}, \quad (1)$$

где  $A_I$  и  $A_{II}$  – содержание  $^{137}\text{Cs}$  в первом и втором адсорбере соответственно.

**Таблица 1.** Физико-химические параметры отобранных проб воды в соленых озерах п-ова Крым

Озеро	pH	Соленость, ‰	Координаты
Перекопская группа			
Киятское	7.7	200	45°59'30" с. ш. 33°55'26" в. д.
Кирлеутское	7.9	235	45°56'30" с. ш. 34°01'07" в. д.
Красное	9.3	330	46°00'00" с. ш. 33°50'40" в. д.
Керченская группа			
Акташское	8.5	88,5	45°22'31" с. ш. 35°49'45" в. д.
Тобечикское	8.2	176	45°10'18" с. ш. 36°22'42" в. д.
Чокракское	7.9	226	45°27'32" с. ш. 36°17'56" в. д.
Тарханкутская группа			
Бакальское	8.6	46,5	45°44'51" с. ш. 33°10'25" в. д.
Джарылгач	8.5	115	45°34'30" с. ш. 32°52'25" в. д.
Евпаторийская группа			
Кызыл-Яр	7.9	3,5	45°03'33" с. ш. 33°35'45" в. д.
Мойнакское	8.2	47	45°11'06" с. ш. 33°19'29" в. д.
Сасык-Сиваш	7.7	280	45°11'26" с. ш. 33°30'24" в. д.

Концентрацию  $^{137}\text{Cs}$  в исследуемой воде ( $A$ , Бк/м<sup>3</sup>) рассчитывали по уравнению:

$$A = \frac{A_1}{E \times V}, \quad (2)$$

где  $V$  – объем пробы, м<sup>3</sup>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты измерений содержания  $^{137}\text{Cs}$  в воде соленых озер Крыма представлены на рис. 2.

В ряде случаев, особенно в Евпаторийской группе озер, наблюдалась положительная корреляция между соленостью воды и концентрацией  $^{137}\text{Cs}$ , тогда как в Перекопской и Керченской группах эта зависимость была не столь прямолинейной, а в Тарханкутских озерах она и вовсе отсутствовала.

Это объясняется разной степенью связи озер Евпаторийской группы с Северо-Крымским каналом [2] и тем, что их водно-солевой режим поддерживается также за счет дренажа черно-

морской воды через узкие дамбы, пересыпи или протоки. В данном случае концентрация  $^{137}\text{Cs}$ , для которого характерна очень высокая растворимость в морской воде [8, 11, 12], меняется пропорционально общему солесодержанию в воде исследуемых озер (280‰ – в озере Сасык-Сиваш, 3,5‰ – в озере Кызыл-Яр). Озера Перекопской группы в меньшей степени связаны с Черным морем, и в них до апреля 2014 г. поступала днепровская вода из Северо-Крымского канала со значительно более высоким, в сравнении с Черным морем, содержанием чернобыльского  $^{137}\text{Cs}$  [5]. В [5] отмечено, что после прекращения подачи днепровской воды в Северо-Крымский канал в 2014 г. содержание чернобыльских радионуклидов в смежных водоемах заметно уменьшилось. Однако это может повлиять на содержание  $^{137}\text{Cs}$  в Каркинитском заливе, куда в настоящее время сбрасывается избыток днепровской воды, подававшейся ранее в Крым.

Аналогичная ситуация со смешанным поступлением морской и днепровской воды наблюдалась и в Керченской группе соленых озер, часть

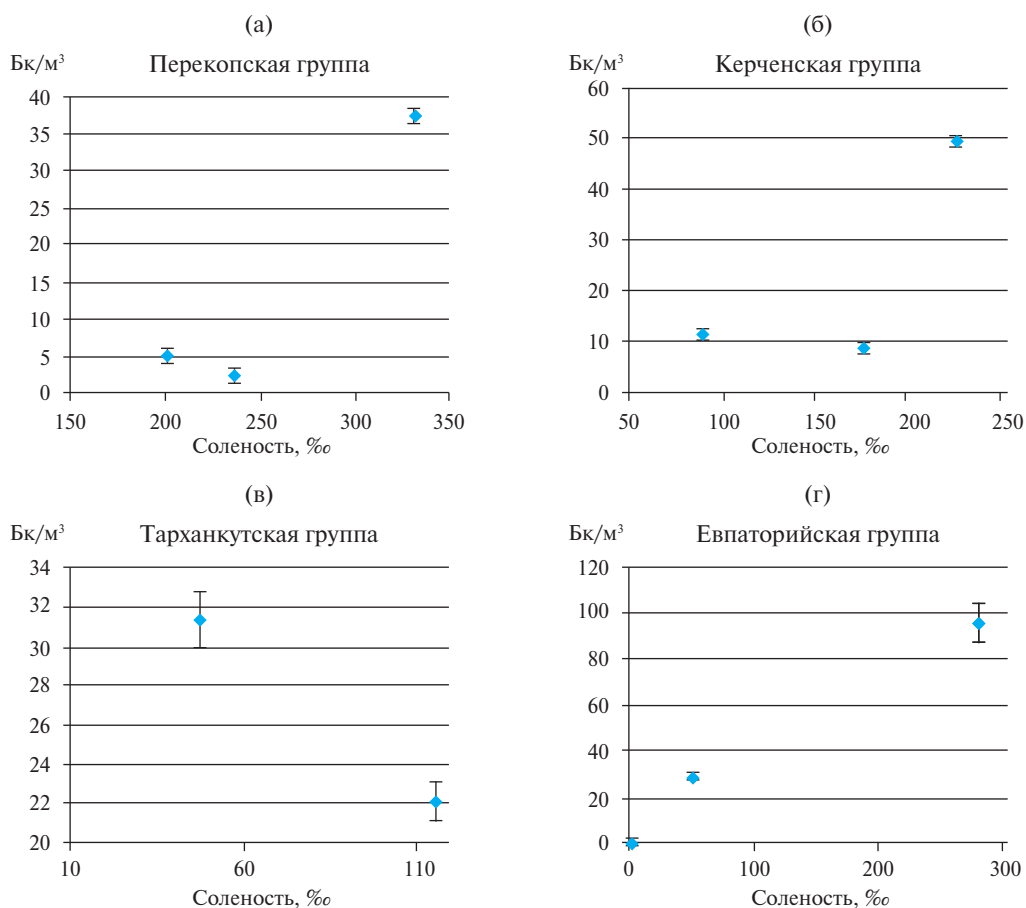


Рис. 2. Зависимость удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  от солености для групп озер: (а) – Перекопской, (б) – Керченской, (в) – Тарханкутской, (г) – Евпаторийской.

которых имела дренажный либо прямой контакт с восточной веткой Северо-Крымского канала [12]. При этом достаточно высокие концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в озерах Акташском и Чокракском не связаны с поступлением этого радионуклида с водами Азовского моря, так как, по данным [10], концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в нем составляла в среднем всего 2.5 Бк/м<sup>3</sup>. Это свидетельствует о прямом вкладе восточной ветки Северо-Крымского канала в радиоэкологическую обстановку в данных озерах. В Тарханкутской группе озер влияние днепровской воды было также существенным за счет ее поступления по западной ветке Северо-Крымского канала, в том числе для водообеспечения обширных зон рисосеяния. Вместе с тем в эти озера поступает и морская вода. Так, в оз. Бакальском, связанном с Каркинитским заливом Черного моря, концентрация  $^{137}\text{Cs}$  была выше, чем в оз. Джарылгач, которое отделено от моря пересыпью. Каркинитский залив считается наиболее загрязненным радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$ , так как расположен в зоне речного стока, приносящего чернобыльские радионуклиды по руслу р. Днепр [12].

Полученные данные показали, что наиболее загрязненное по  $^{137}\text{Cs}$  – оз. Сасык-Сиваш – самое крупное соленое озеро Крыма, грязи которого применяются в лечебных целях. Наименее – Кызыл-Яр (табл. 2).

Такая разница в концентрациях  $^{137}\text{Cs}$  объясняется разной соленостью воды исследуемых водоемов, что влияет на распределение этого

**Таблица 2.** Концентрация и суммарный запас  $^{137}\text{Cs}$  в соленых озерах Крыма в 2016 г. по сравнению с 1986 г.

Озеро	Бк/м <sup>3</sup> , 1986 г.	Бк/м <sup>3</sup> , 2016 г.	Суммарный запас, МБк, 2016 г.
Перекопская группа			
Киятское	10.49	5.26	131.59
Кирлеутское	5.15	2.59	80.72
Красное	74.62	37.46	1314.99
Керченская группа			
Акташское	22.95	11.52	617.46
Чокракское	98.27	49.34	356.46
Тобечикское	17.33	8.7	162.7
Тарханкутская			
Бакальское	62,56	31.4	89.19
Джарылгач	44.24	22.2	92.17
Евпаторийская			
Кызыл-Яр	1.5	0.75	12
Мойнакское	59.35	29.79	26.22
Сасык-Сиваш	190.98	95.88	3609.72

радионуклида в экосистемах соленых озер. Если в оз. Сасык-Сиваш, соленость которого – одна из наибольших среди исследуемых озер,  $^{137}\text{Cs}$  находится в растворенной форме в водной среде, то из почти пресной (3.5‰) воды оз. Кызыл-Яр  $^{137}\text{Cs}$  удаляется в донные отложения в результате биогеохимических процессов.

Эти озера находятся близко друг от друга. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в воде озер Тарханкутской и Евпаторийской групп оказалось выше, чем в воде западной части Черного моря (в среднем 15.2 Бк/м<sup>3</sup>, по данным 2011 г. [14]).

В табл. 2 представлены также величины суммарного запаса  $^{137}\text{Cs}$  в каждом из исследованных озер, который рассчитывался исходя из объема озера, равного произведению средней глубины на площадь зеркала. Для сравнения показаны значения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в 1986 г.

Таким образом, значительная соленость водной среды озер, а также их бессточность обуславливают то, что основной элиминирующий фактор уменьшения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в воде озер – физический период полураспада. Однако в ряде случаев уменьшение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  происходит за счет разбавления водной среды озер менее загрязненными водами Черного моря.

## ВЫВОДЫ

Один из основных источников поступления  $^{137}\text{Cs}$  в воды соленых озер Крымского п-ова – Северо-Крымский канал, который до 2014 г. приносил радионуклиды чернобыльского происхождения с днепровской водой. Другой источник поступления  $^{137}\text{Cs}$  – воды Черного моря за счет их дренажной и прямой связи с прибрежными солеными озерами, в которых наблюдалась положительная корреляция между концентрацией  $^{137}\text{Cs}$  и соленостью воды.

### *Источник финансирования*

Результаты морских исследований, используемых в сравнительном анализе в данной статье, получены в рамках государственного задания «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (АААА-А18-118020890090-2)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенберг М.М., Каганер М.С. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 4. Крым. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 344 с.



2. Ануфриева Е.В., Шадрин Н.В., Шадрина С.Н. История изучения биоразнообразия гиперсоленых водоемов Крыма // Аридные экосистемы. 2017. Т. 23. № 1 (70). С. 64–71.
3. Бей О.Н., Проскурнин В.Ю., Гулин С.Б. Измерение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  по собственному бета-излучению с помощью жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии // Радиохимия. 2016. Т. 58. № 2. С. 147–149.
4. Бетенеков Н.Д., Егоров Ю.В., Китаев Г.А., Попов В.И., Пузако В.Д., Черемухин Ю.Г. Способ получения сорбента. А.с. СССР № 457248. 1972.
5. Гулин С.Б., Мирзоева Н.Ю., Лазоренко Г.Е., Егоров В.Н., Трапезников А.В., Сидоров И.Г., Проскурнин В.Ю., Поповичев В.Н., Бей О.Н., Родина Е.А. Современная радиоэкологическая ситуация, связанная с режимом функционирования Северо-Крымского канала // Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56. № 6. С. 1–8.
6. Гулина Л.В., Гулин С.Б. Природные и техногенные радионуклиды в экосистеме соленого озера Кояшское (юго-восточный Крым) // Морской экол. журн. 2011. Т. 1. № 1. С. 19–25.
7. Лазоренко Г.Е. Молисмологическое исследование водной экосистемы Северо-Крымского канала. Чтения памяти Н.В. Тимофеева-Ресовского. Севастополь: ИнБЮМ, 2000. С. 100–107.
8. Лидин Р.А., Андреева Л.Л., Молочко В.А. Справочник по неорганической химии. М.: Химия, 1987. 320 с.
9. Лисовский А.А., Новик В.А., Тимченко З.В., Мустафаева З.Р. Поверхностные водные объекты Крыма. Справочник. Симферополь: Рескомводхоз АРК, 2004. 113 с.
10. Матишов Г.Г., Буфетова М.В.  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в Азовском море после аварии на Чернобыльской АЭС // Докл. РАН. 2002. Т. 383. С. 1–3.
11. Поликарпов Г.Г. Радиоэкология морских организмов. М.: Атомиздат, 1964. 295 с.
12. Поликарпов Г.Г., Лазоренко Г.Е., Терещенко Н.Н., Коротков А.А. 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. Поликарпова Г.Г., Егорова В.Н. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. С. 185–206.
13. Плющев В.Е., Степин Б.Д. Аналитическая химия рублидия и цезия. М.: Наука, 1975. 224 с.
14. Gulin S.B., Mirzoyeva N.Yu., Egoron V.N., Polikarpov G.G., Sidorov I.G., Proskurnin V.Yu. Secondary radioactive contamination of the Black Sea after Chernobyl accident: recent levels, pathways and trends // J. Environ. Radioactivity. 2013. Т. 124. P. 50–56.
15. Mirzoyeva N., Gulina L., Plotisina O., Stetsuk A., Arkhipova S., Korkishko N., Eremin O. Radiochemoecological monitoring of the salt lakes of the Crimea // Acta Geologica Sinica (English Edition). 2014. V. 88. Supp. 1. P. 155–157.
16. Mirzoyeva N., Gulina L., Gulina S., Plotisina O., Stetsuk A., Arkhipova S., Korkishko N., Eremin O. Radionuclides and mercury in the salt lakes of the Crimea // Chinese J. Oceanol. Limnol. 2015. V. 33. № 6. P. 1413–1425.

## CESIUM-137 IN THE SALT LAKES OF CRIMEA

© 2019 O. N. Miroshnichenko<sup>1,\*</sup>, N. Yu. Mirzoeva<sup>1</sup>, I. G. Sidorov<sup>1</sup>, S. B. Gulina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS,  
Sevastopol, 299011 Russia

\*e-mail: oksaniya\_89@mail.ru

Received: 09.02.2017

Received version received: 27.04.2017

Accepted: 29.06.2017

The content of the man-made radioactive nuclide  $^{137}\text{Cs}$  was investigated in different groups of the salt lakes of Crimea peninsula. One of the main sources of  $^{137}\text{Cs}$  was determined to be the North-Crimea channel, which supplied the Dnepr water to Crimea until 2014 with a high content of radioactive nuclides of Chernobyl origin. The other source of  $^{137}\text{Cs}$  is the Black Sea water owing to its drainage and direct connection with the coastal salt lakes of Crimea, which demonstrates a positive correlation between  $^{137}\text{Cs}$  concentration and water salinity.

**Keywords:** Crimea, salt lakes,  $^{137}\text{Cs}$ .

**DOI:** 10.31857/S0321-0596463298-302