



УДК 539.163:574.5 (282.247.34)

Л. В. Гулина, вед. инж., С. Б. Гулин, докт. биол. наук, зав. отд.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Национальной академии наук Украины, Севастополь, Украина

## ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ЭКОСИСТЕМЕ СОЛЁНОГО ОЗЕРА КОЯШСКОЕ (ЮГО-ВОСТОЧНЫЙ КРЫМ)

Впервые изучено содержание и вертикальное распределение естественных ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) и антропогенных ( $^{137}\text{Cs}$ ) радионуклидов в донных отложениях солёного озера Кояшское, расположенного на территории Опукского природного заповедника (Керченский п-ов, юго-восточный Крым). Основной вклад в суммарную радиоактивность донных отложений в озере вносят природные радионуклиды, тогда как уровень их загрязнения техногенным цезием-137 в 2 – 3 раза ниже, чем в прибрежной зоне Чёрного моря. Высокое содержание в поверхностном слое донных осадков озера природного свинца-210 может свидетельствовать о достаточно активном поступлении его материнского радионуклида – газообразного радона-222 из нижележащих слоёв донных отложений. Средняя скорость осадконакопления в прибрежной зоне озера, определённая с помощью  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , составила соответственно 0.117 и 0.109 см·год<sup>-1</sup> (в среднем  $0.113 \pm 0.006$  см·год<sup>-1</sup>).

**Ключевые слова:** Крым, солёные озера, Опукский природный заповедник, оз. Кояшское, радионуклиды.

Солёные озёра Крыма представляют собой уникальные экосистемы со своеобразным гидрохимическим режимом и структурой сообществ живых организмов [1, 2, 7]. Высокая солёность воды в этих озёрах поддерживается, главным образом, за счёт её интенсивного испарения, особенно в летний период. Это может приводить к концентрированию многих химических элементов, в том числе радиоактивных [1, 9]. Известно, например, что лечебные свойства воды и донных осадков солёных озёр нередко связывают с повышенным содержанием в них радона [6], являющегося одним из дочерних продуктов радиоактивного распада урана, концентрация которого в природных водоёмах зачастую прямо пропорциональна их солёности [10].

В Крыму расположено свыше 50 солёных озёр континентального и морского типа [1, 9]. В последней группе особое место занимает озеро Кояшское, являющееся наиболее солёным (от 184 до 340 ‰) [1, 7]. Оно расположено на территории Опукского природного заповедника и в наименьшей степени подвержено хо-

зяйственной деятельности человека. Вместе с тем, данные по составу естественных и антропогенных радионуклидов в этом озере отсутствуют. В связи с этим, целью данной работы было проведение предварительного радиоэкологического обследования озера Кояшское и определение возможности использования радиотрассерных методов для оценки интенсивности и многолетней динамики протекающих в нём биогеохимических процессов, прежде всего, седиментационных.

**Материал и методы.** Отбор проб в озере Кояшское выполнен во время сухопутной экспедиции отдела радиационной и химической биологии (ОРХБ) ИнБЮМ НАН Украины по Керченскому п-ову 20 – 23 июня 2009 г.

Колонки донных отложений с ненарушенной стратификацией отобраны в прибрежной зоне юго-восточной части озера на расстоянии примерно 15 м от берега в точке с координатами  $45^{\circ} 02' 13.49''$  с.ш. –  $36^{\circ} 12' 05.73''$  в.д. (рис. 1), определёнными с помощью портативного спутникового навигатора GARMIN GPS-12-XL. Глубина дна в месте отбора проб

составляла 15 см. Донные отложения на этом участке представляли собой чёрный ил, покры-

тый коркой кристаллической соли розового цвета толщиной около 0.5 см.



Рис. 1 Место отбора донных отложений в озере Кояшское 22 июня 2009 г.  
Fig. 1 Location of sediment sampling site in the Koyashskoe lake on 22 June 2009

Для пробоотбора использовали акриловую трубку с внутренним диаметром 58 мм и заострённым нижним краем. Трубку плавно погружали в толщу донных осадков на глубину примерно 20 см, после чего нижний край трубки закрывали резиновой пробкой-поршнем, а верхний – накладной пластиковой крышкой. После транспортировки в ОРХБ ИнБЮМ колонку разделяли на горизонтальные слои толщиной 1 см с помощью поршневого экструдера, описанного, например, в работе [15]. В качестве резака использовали алюминиевую фольгу толщиной около 100 мкм. Для уменьшения пристеночного эффекта 1.5-мм край каждого слоя донных отложений отрезали с помощью заострённого кольца меньшего диаметра (55 мм). Сразу после нарезки пробы взвешивали, сушили около 2 сут. при температуре 40 – 50°C и затем вновь взвешивали, определяя количество выпаренной воды. Для оценки пористости донных отложений рассчитывали содержание солей, растворённых в ка-

пиллярной воде [10]. Для этого были использованы результаты измерения солёности придонного слоя воды, отобранной нами в той же точке, которые были выполнены к.б. н. М. Б. Гулиным (отдел экологии бентоса ИнБЮМ) при помощи портативного кондуктометрического солемера НАСН10N-1410 (США).

Высушенные пробы донных отложений измельчали с помощью агатовой ступки и помещали в контейнеры для гамма-спектрометрических измерений. Содержание радионуклидов урана-238, тория-232, радия-226, свинца-210, калия-40 и цезия-137 определяли с использованием полупроводникового детектора ORTEC GMX-10 (США), выполненного на основе кристалла сверхчистого германия. Калибровку детектора осуществляли с помощью стандартных образцов донных отложений IAEA-306 и IAEA-315, поставляемых МАГАТЭ [14] и имевших форму и размеры, аналогичные исследованным нами образцам донных отложений.

Содержание  $^{226}\text{Ra}$  определяли по гамма-излучению его короткоживущих дочерних радионуклидов  $^{214}\text{Pb}$  (энергия гамма-квантов 295.2 и 351.9 кэВ) и  $^{214}\text{Bi}$  (609.3 кэВ), а  $^{238}\text{U}$  – по его дочернему радионуклиду  $^{234}\text{Th}$  (энергия 63.3 и 92.6 кэВ) в состоянии радиоактивного равновесия между дочерними и материнскими радионуклидами, достигнутого за счёт длительного (до 5 мес.) выдерживания проб перед измерениями [8, 10, 11].

Активность  $^{210}\text{Pb}$  измеряли с учётом возможности самопоглощения его низкоэнергетического гамма-излучения (46.5 кэВ) в толще измеряемых образцов донных отложений [8]. Для этого перед измерением каждой пробы на её поверхность накладывали плоский стандартный источник, содержащий  $^{210}\text{Pb}$  с высокой активностью излучения (15500 Бк), и определяли гашение его гамма-излучения в толще пробы [11]. Полученный коэффициент самопоглощения составил в среднем  $1.231 \pm 0.017$ . Для дополнительной проверки полученных величин самопоглощения были подготовлены и последовательно измерены пять проб донных отложений одинаковой формы, с равным содержанием  $^{210}\text{Pb}$ , но имеющие разную плотность (от 0.71 до 1.53 г·см<sup>-3</sup>). В результате был определён коэффициент самопоглощения гамма-излучения  $^{210}\text{Pb}$ , равный в среднем  $1.246 \pm 0.020$ , что практически совпало с прямыми измерениями, выполненными при помощи внешнего стандартного источника излучения этого радионуклида.

Содержание радионуклидов в донных отложениях рассчитано на сухой вес осадка после вычета из него веса солей, растворённых в поровой воде. Статистическая ошибка гамма-спектрометрических измерений рассчитана по величине одного стандартного отклонения от средних значений с учётом уровня внешнего радиоактивного фона. Во всех случаях величина относительной погрешности не превышала 10%. Для достижения такого уровня погрешности время измерений каждой пробы составляло 2 и более суток.

Относительное содержание органического вещества в донных отложениях определяли по изменению веса пробы после её озоления в муфельной печи при температуре 450°C.

**Результаты и обсуждение.** Во время проведения исследований солёность воды в прибрежной зоне озера Кояшское составила 283 ‰. Для сравнения, по нашим измерениям, выполненным в тот же период (21 июня 2009) в озере Тобечикское, расположенном вблизи Керченского пролива, солёность прибрежной воды была заметно меньше – 216 ‰.

Донные отложения в исследованном районе озера Кояшское отличались достаточно высокими значениями влажности (т.е. относительного содержания капиллярной воды) и пористости (табл. 1), что свидетельствует о преобладании тонкодисперсных фракций осадочного материала [3]. Содержание органического вещества в поверхностном слое донных отложений было также высоким, – более 16% от сухой массы обессоленного осадка (табл. 1), что вдвое выше, чем, например, в Севастопольских бухтах [4, 12, 13].

Результаты гамма-спектрометрических измерений содержания в донных отложениях озера природных и техногенных радионуклидов представлены в табл. 1. Из неё видно, что наибольший вклад в суммарную радиоактивность этих осадков (в среднем около 97%) вносят природные радионуклиды уран-238, торий-232, радий-226 и, особенно, свинец-210 и калий-40. Напротив, средний уровень радиоактивного загрязнения донных отложений антропогенным цезием-137, поступившим в окружающую среду после атмосферных испытаний ядерного оружия в 1950 – 1960-е годы и в результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г., был в 2 – 3 раза ниже, чем, например, в прибрежной зоне и в бухтах Севастополя [4, 13].

Обращает на себя внимание высокое содержание в донных осадках озера природного свинца-210 (табл. 1), который образуется при радиоактивном распаде радона-222.

Табл. 1 Вертикальное распределение природных и техногенных радионуклидов в донных отложениях прибрежной зоны солёного озера Кояшское

Table 1 Vertical distribution of the naturally occurring and man-made radionuclides in coastal sediments of the salt lake Koyashskoe

Слой, см	Влажность, %	Пористость, %	Содержание органики, %	Содержание радионуклидов, Бк·кг <sup>-1</sup> (сухой вес)					
				<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
0-1	44.3	56.9	16.6	42.1	12.0	66.0	488.1	372.0	34.3
1-2	54.5	70.0	-	53.1	28.9	71.9	401.5	535.2	53.6
2-3	48.5	62.2	13.7	59.2	28.0	52.2	334.8	667.6	58.5
3-4	47.8	61.3	14.0	39.5	23.3	34.9	318.5	626.1	53.1
4-5	49.1	63.0	13.5	42.5	28.1	55.4	242.5	579.4	48.1
5-6	50.7	65.0	13.3	52.1	28.1	63.0	256.1	625.4	43.4
6-7	43.9	56.4	10.1	53.5	27.2	49.2	145.2	635.8	19.4
7-8	37.2	47.7	8.8	45.8	21.2	47.2	69.1	625.5	10.2
8-9	51.0	65.4	12.0	49.2	23.6	57.1	63.0	577.6	11.9
9-10	47.9	61.5	11.8	49.7	16.8	37.4	38.8	500.5	4.9
10-11	54.4	69.8	-	63.3	34.3	76.4	78.8	550.7	12.0
11-12	48.5	62.2	11.9	50.7	33.2	65.9	65.9	331.1	8.8

Обычно в поверхностном слое прибрежных отложений Чёрного моря содержание этого радионуклида в 5 – 10 раз меньше величин, указанных в табл. 1 [4]. При этом содержание радия-226, из которого образуется радон-222, в поверхностном слое донных осадков оз. Кояшское существенно не отличалось от значений, определённых ранее в мелководных акваториях Чёрного моря [4, 13]. Полученные данные могут свидетельствовать о достаточно активном поступлении газообразного радона-222, имеющего период полураспада всего 3.8 сут., из нижележащих слоёв донных отложений озера Кояшское.

Следует отметить и более высокое, по сравнению с другими исследованными акваториями, содержание в донных отложениях оз. Кояшское урана-238. Но это, скорее всего, обусловлено его концентрированием в придонном слое воды за счет её интенсивного испарения, поскольку известно, что концентрация урана-238 в водоёмах прямо пропорциональна солёности воды [10].

Данные по вертикальному распределению радионуклидов в донных отложениях оз. Кояшское (табл. 1, рис. 2, 3) позволяют опре-

делить целый ряд биогеохимических параметров, прежде всего, скорость осадконакопления. Для этого могут быть использованы как природные, так и техногенные радионуклиды, прежде всего, свинец-210 и цезий-137.

На рис. 2 показан вертикальный профиль распределения <sup>210</sup>Pb в донных отложениях прибрежной зоны озера. Эти данные соответствуют активности т.н. «избыточного» <sup>210</sup>Pb относительно содержания его материнского радионуклида <sup>226</sup>Ra, имеющего значительно больший период радиоактивного распада и меньшую способность сорбироваться взвешенным веществом.

Величину избыточного <sup>210</sup>Pb определяют путём вычитания удельной радиоактивности <sup>226</sup>Ra из исходного содержания <sup>210</sup>Pb (представленного в табл. 1) в соответствующем слое осадка [8]. Полученное значение отражает седиментационное поступление <sup>210</sup>Pb из водной тощи, дополнительно к его содержанию в донных отложениях, образованному за счёт радиоактивного распада <sup>226</sup>Ra [8].

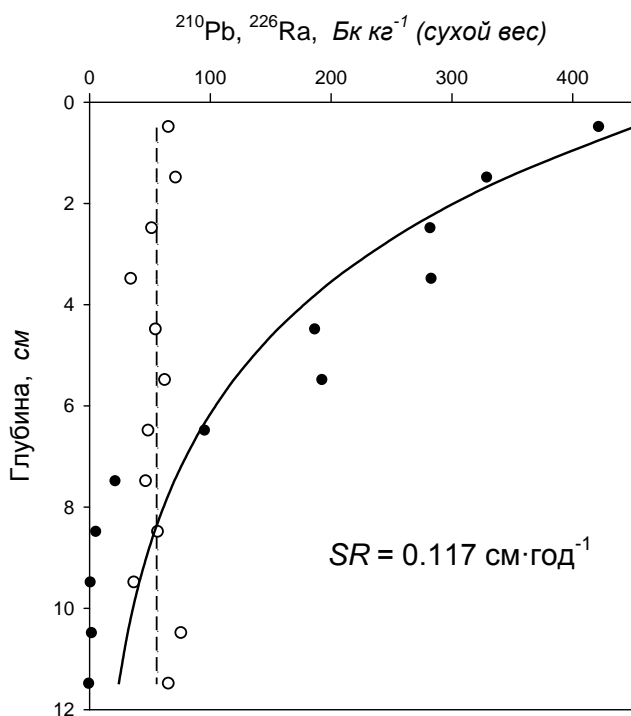


Рис. 2 Вертикальное распределение избыточного свинца-210 (●) и его материнского радионуклида радия-226 (○) в донных отложениях прибрежной зоны озера Кояшское. SR – средняя скорость осадконакопления

Fig. 2 Vertical distribution of excess lead-210 (●) and its mother radionuclide radium-226 (○) in coastal sediments of the Koyashskoe lake. SR – average sedimentation rate

В идеальном случае, когда скорость осадконакопления постоянна, а перемешивание донных отложений незначительно, содержание избыточного  $^{210}\text{Pb}$  должно экспоненциально убывать вглубь осадка вплоть до горизонтов, где оно становится равным активности  $^{226}\text{Ra}$ , отражая т.н. «вековое» равновесие этих двух радионуклидов [8, 10]. При таких условиях параметры аппроксимирующей экспоненты служат основанием для расчета скорости седиментации донных отложений согласно уравнению [10]:

$$A(z) = A_0 \cdot e^{-\frac{\lambda \cdot z}{S}}, \quad (1)$$

где  $A(z)$  – содержание избыточного  $^{210}\text{Pb}$  ( $\text{Bк}\cdot\text{кг}^{-1}$ ) в слое  $z$  ( $\text{см}$ );  $A_0$  – содержание  $^{210}\text{Pb}$  в поверх-

ностном слое осадка ( $\text{Bк}\cdot\text{кг}^{-1}$ );  $\lambda$  – постоянная радиоактивного распада  $^{210}\text{Pb}$  ( $0.0311 \text{ год}^{-1}$ );  $S$  – скорость осадконакопления ( $\text{см}\cdot\text{год}^{-1}$ ).

По нашим данным, вертикальное распределение избыточного  $^{210}\text{Pb}$  в донных осадках озера Кояшское имело достаточно монотонный характер (рис. 2) и удовлетворительно описывалось экспоненциальной зависимостью:  $^{210}\text{Pb}$  ( $\text{Bк}/\text{кг}$ ) =  $513.44 \cdot e^{-0.266 \text{ см}}$  ( $r^2 = 0.85$ ). Согласно уравнению (1), показатель этой экспоненты ( $\lambda/S = -0.266$ ) соответствует скорости осадконакопления, равной  $0.117 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$ .

Дополнительная проверка величины скорости осадконакопления была проведена с помощью  $^{137}\text{Cs}$  (рис. 3).

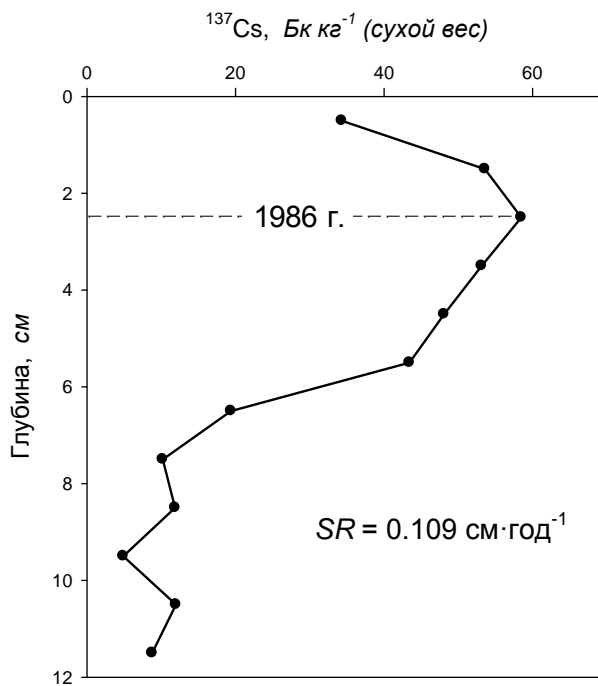


Рис. 3 Вертикальное распределение цезия-137 в донных отложениях прибрежной зоны озера Кояшское. SR – средняя скорость осадконакопления

Fig. 3 Vertical distribution of caesium-137 in coastal sediments of the Koyashskoe lake. SR – average sedimentation rate

Вертикальное распределение этого долгоживущего антропогенного радионуклида имело подповерхностный максимум на горизонте 2.5 см. Подобный характер распределения  $^{137}\text{Cs}$  в регионе Черного моря объясняется

его интенсивным выпадением после аварии на Чернобыльской АЭС [4, 8, 10, 12, 13]. Поскольку максимальные выпадения чернобыльского  $^{137}\text{Cs}$  над Черным морем были отмечены в начале мая 1986 г. [5], то указанная выше глубина залегания максимума активности этого радионуклида в колонке исследованных донных отложений соответствовала скорости осадконакопления, равной  $0.109 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$ . Эта величина практически совпадает с рассмотренными выше измерениями, выполненными при помощи  $^{210}\text{Pb}$  ( $0.117 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$ ).

Полученные данные по скорости накопления донных отложений в оз. Кояшское позволят в дальнейшем определить возраст каждого слоя этих осадков и затем выполнить геохронологическую реконструкцию многолетней динамики седиментогенеза и других биогеохимических и экологических факторов за последние 50 – 100 лет [4, 12, 13]. Однако это требует проведения дополнительных экспедиционных исследований с отбором проб в центральной части озера, где можно ожидать наличия так называемых ламинированных осадков, в большей степени сохраняющих их исходную стратификацию.

**Выводы. 1.** Радиоактивность донных отложений прибрежной зоны солёного озера Кояшское обусловлена, главным образом, содержанием природных радионуклидов урана-238, тория-232, радия-226, свинца-210 и калия-40. **2.** Уровень радиоактивного загрязнения донных отложений оз. Кояшское антропогенным цезием-137 в 2 – 3 раза ниже, чем, к примеру, в прибрежной зоне Черного моря и в бухтах Севастополя. **3.** Высокое содержание в поверхностном слое донных осадков оз. Кояшское природного свинца-210 может свидетельствовать о достаточно активном поступлении его материнского радионуклида – газообразного радона-222 из нижележащих слоев донных отложений. **4.** Средняя скорость осадконакопления в донных отложениях прибрежной зоны оз. Кояшское, определенная с помощью  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$  радионуклидов, составила соответственно  $0.117$  и  $0.109 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$  (в среднем  $0.113 \pm 0.006 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$ ).

**Благодарности.** Авторы выражают глубокую признательность заведующему научным сектором Опускского природного заповедника А. М. Семик за всестороннюю поддержку при организации и проведении данной работы в акватории озера Кояшское.

1. *Балушкина Е. В., Голубков С. М., Голубков М. С.* и др. Влияние абиотических и биотических факторов на структурно-функциональную организацию экосистем солёных озёр Крыма // Журн. общ. биол. – 2009. – **70**, № 6. – С. 504 – 514.
2. *Бульон В. В., Анохина Л. Е., Аракелова Е. С.* Первичная продукция гипергалинных озёр Крыма // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. – 1989. – **205**. – С. 14 – 25.
3. *Гавшин В. М., Лапухов С. В., Сараев С. В.* Геохимия литогенеза в условиях сероводородного заражения (Чёрное море). – Новосибирск: Наука, 1988. – 194 с.
4. *Гулин С. Б.* Радиоизотопная геохронологическая реконструкция загрязнения и эвтрофикации Чёрного моря / Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. Радиоэкологический отклик Чёрного моря на чернобыльскую аварию. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – С. 519 – 547.
5. *Израэль Ю. А., Петров В. Н., Авдюшкин С. А.* Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской атомной электростанции // Метеорология и гидрология. – 1987. – № 2. – С. 5 – 18.
6. *Первольф Ю. В.* Илы и условия их илообразования в соляных озёрах Крыма // Тр. лаборатории озёроведения АН СССР. – 1953. – **2**. – С. 154 – 228.
7. *Шадрин Н. В., Голубков С. М., Балушкина Е. В.* и др. Отклик экосистемы гиперсолёного Бакальского озера (Крым) на климатические особенности 2004 года // Морск. экол. журн. – 2004. – **3**, № 4. – С. 74.
8. *Appleby P. G.* Dating recent sediments by  $^{210}\text{Pb}$ : problems and solutions / Ilus E. Dating of sediments and determination of sedimentation rate. – Helsinki: STUK – Radiation and Nuclear Safety Authority, 1998. – P. 7 – 24.
9. *Balushkina E. V., Golubkov S. M., Golubkov M. S.* et al. Characteristic features of ecosystems of hyperhaline lakes of the Crimea // Тр. Зоол. ин-та РАН. – 2005. – **308**. – С. 5 – 13.
10. *Buesseler K. O., Benitez C. R.* Determination of mass accumulation rates and sediment radionuclide

- inventories in the deep Black Sea // Deep-Sea Research. – 1994. – **11**, № 12. – P. 1605 – 1615.
11. *Cutshall N. H., Larsen I. L., Olsen C. R.* Direct analysis of  $^{210}\text{Pb}$  in sediment samples: self-absorption corrections // Nuclear Instruments and Methods. – 1983. – № 206. – P. 309 – 312.
  12. *Gulin S. B., Gulina L. V.* Nuclear geochronology of the Black Sea ecosystems // 37<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Radiation Research Society (Prague, Czech Republic, 26 – 29 August 2009): Abstr. – Prague, 2009. – P. 134.
  13. *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. – 2001. – **54**, № 3. – P. 541 – 549.
  14. *IAEA – International Atomic Energy Agency.* AQCS: Catalogue for reference materials and inter-comparison exercises 1998/1999 // International Atomic Energy Agency, Analytical Control Services. – Vienna: IAEA, 1998. – 64 p.
  15. *Papucci C.* Sampling marine sediments for radionuclide monitoring // Strategies and Methodologies for Applied Marine Radioactivity Studies. – Vienna: IAEA, 1997. – P. 279 – 297.

Поступила 05 июля 2010 г.

**Природні і техногенні радіонукліди в екосистемі солоного озера Кояшське (південно-східний Крим).** Л. В. Гуліна, С. Б. Гулін. Вивчено вміст і вертикальний розподіл природних ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) і антропогенних ( $^{137}\text{Cs}$ ) радіонуклідів у донних відкладеннях солоного озера Кояшське, розташованого на території Опукського природного заповідника (Керченський півострів, південно-східний Крим). Основний внесок у сумарну радіоактивність донних відкладів в цьому озері вносять природні радіонукліди, тоді як рівень їх забруднення техногенним цезієм-137 в 2-3 рази нижче, ніж в прибережній зоні Чорного моря. Високий вміст в поверхневому шарі донних відкладів озера природного свинцю-210 може свідчити про досить активне надходження його материнського радіонукліда – газоподібного радону-222 з нижчих шарів донних відкладень. Середня швидкість осадконакопичення у прибережній зоні озера, визначена за допомогою  $^{210}\text{Pb}$  і  $^{137}\text{Cs}$ , склала відповідно, 0.117 і 0.109 см·рік<sup>-1</sup> (в середньому 0.113 ± 0.006 см·рік<sup>-1</sup>).

**Ключові слова:** Крим, солоні озера, Опукський природний заповідник, оз. Кояшське, радіонукліди.

**Natural and man-made radionuclides in ecosystem of the salt lake Koyashskoe (SE Crimea).** L. V. Gulina, S. B. Gulin. Concentrations and vertical distribution of natural ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) and anthropogenic ( $^{137}\text{Cs}$ ) radionuclides in the bottom sediments of the salt lake Koyashskoe located in the Opuk Nature Reserve (Kerch Peninsula, southeastern Crimea) have been studied. Natural radionuclides are the main contributors to the total radioactivity of the lake sediments, while the level of their pollution with caesium-137 is 2-3 times lower than in the coastal zone of the Black Sea. High concentration of natural lead-210 in the surface sediments of the Koyashskoe Lake may suggest an active flow of its parent radionuclide – gaseous radon-222 coming from the deeper sediment layers. The average sedimentation rate in coastal zone of the lake determined using  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  is, respectively, 0.117 and 0.109 cm·yr<sup>-1</sup> (0.113 ± 0.006 cm·yr<sup>-1</sup> in average).

**Keywords:** Crimea, salt lakes, Opuk Nature Reserve, Koyashskoe Lake, radionuclides.