

УДК 550.424.6

DOI 10.23683/0321-3005-2017-3-1-108-113

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ р. ДОН, ст. МАНЫЧСКАЯ)*

© 2017 г. Ю.А. Федоров¹, В.М. Ярославцев¹, И.В. Доценко¹

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

NATURAL AND TECHNOGENIC RADIONUCLIDES IN SEDIMENT CORES (THE CASE OF THE DON RIVER, MANYCHSKAYA VILLAGE)

Yu.A. Fedorov¹, V.M. Yaroslavtsev¹, I.V. Dotsenko¹

¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Федоров Юрий Александрович – доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий кафедрой физической географии, экологии и охраны природы, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: fedorov@sfedu.ru

Yuri A. Fedorov - Doctor of Geography, Professor, Main Researcher, Head of the Department of Physical Geography, Ecology and Environment, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: fedorov@sfedu.ru

Ярославцев Владислав Михайлович – магистрант, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: yaroslavtsev.vlad@gmail.com

Vladislav M. Yaroslavtsev – Master Student, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: yaroslavtsev.vlad@gmail.com

Доценко Ирина Владимировна – кандидат географических наук, доцент, кафедра физической географии, экологии и охраны природы, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: irinageo@mail.ru

Irina V. Dotsenko - Candidate of Geography, Associate Professor, Department of Physical Geography, Ecology and Environment Protection, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: irinageo@mail.ru

Изучены уровни концентраций и распределение удельной активности естественных (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{234}Th) и техногенных (^{137}Cs и ^{241}Am) радионуклидов, ^{210}Pb , а также валового содержания свинца в донных отложениях излучины реки Дон в районе станицы Манычской. Расчет уравнений регрессии показал, что для удельной активности изотопов ^{234}Th и ^{232}Th наблюдался слабый тренд к снижению с глубиной, в то время как для ^{238}U он отсутствовал. Удельная активность ^{226}Ra проявила тенденцию к возрастанию с глубиной. Более тесная прямая связь с глубиной выявлена для удельной активности ^{40}K . Поведение ^{226}Ra и ^{40}K может быть объяснено повышением содержания глинистого материала в донных осадках с глубиной, которое имеет место при приближении к коренным отложениям ложа водотока. Показано, что депонированный в донных отложениях ^{210}Pb имеет как природное, так и техногенное происхождение, обусловленное его поступлением из атмосферы, а также в результате смыва почв и эмиссии из коренных пород ложа при радиоактивном распаде ^{222}Rn . Полигенный источник изотопа подтверждается тесной прямой связью между значением удельной активности $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ и валовым содержанием свинца. Анализ зависимости удельной активности ^{137}Cs и ^{241}Am от глубины показал отсутствие между ними значимой связи. ^{241}Am , как и ^{137}Cs , присутствует по всему разрезу донных отложений, что свидетельствует о поступлении ^{137}Cs и дочернего плутония-241 в реку Дон на протяжении длительного периода вплоть до настоящего времени. Значения удельной активности техногенных (искусственных) изотопов ^{137}Cs и ^{241}Am распределены по всему метровому разрезу донных осадков неравномерно. Присутствуют два пика удельной активности этих элементов, что связано с поступлением радионуклидов в результате черной аварии, а также других событий регионального и глобального масштабов. Причем всплеск уровня удельной активности ^{241}Am расположен несколько ниже такового ^{137}Cs .

Ключевые слова: радионуклиды, естественные радионуклиды, техногенные (искусственные) радионуклиды, донные отложения, ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{137}Cs , ^{241}Am .

* Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ № 15-05-04977 и «Ведущие исследователи на постоянной основе» № 5.5791.2017/6.7.

Authors have studied the levels of concentration and the specific activity distributions of natural (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{234}Th) and technogenic (^{137}Cs and ^{241}Am) radionuclides, as well as total content of lead ^{210}Pb in sediment cores of the Don river bend. It was shown by the computing of regression equations that the specific activities of isotopes ^{234}Th and ^{232}Th demonstrated slow decreasing trend with depth, whereas ^{238}U did not. The specific activity of ^{226}Ra tended to grow with depth. The specific activity of ^{40}K had more straight close relation to the depth. The behaviour of ^{226}Ra and ^{40}K can be explained by increasing of the clay in sediment core with depth, which takes place at reaching core deposits in stream bed. It is indicated that the deposited in core sediments ^{210}Pb has both natural and technogenic origin caused by either income from atmosphere or soil erosion and emission from the bed rocks at radioactive decay of ^{222}Rn . Polygenetic isotope source is proven by straight close relationship between the value of specific activity of ^{210}Pb and the total content of lead. Analysis of relationship between specific activity of ^{137}Cs and ^{241}Am and the depth showed no any significant correlation. The presence of ^{241}Am as well as ^{137}Cs along whole cut points to permanent income of ^{137}Cs and daughter plutonium-241 into the Don river till the present time. The values of specific activity of technogenic (artificial) isotopes ^{137}Cs and ^{241}Am were distributed along the meter cut of sediment core inhomogeneously. There are two peaks of these elements specific activity corresponding to radionuclide income as a result of Chernobyl accident and also other regional and global events. Besides, the burst of ^{241}Am specific activity lies lower than that of ^{137}Cs .

Keywords: radionuclides, natural radionuclides, technogenic (artificial) radionuclides, bottom sediments, ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{137}Cs , ^{241}Am .

Актуальность исследований удельной активности естественных (ЕРН) и особенно техногенных радионуклидов (ТРН) заключается в их негативном воздействии на животные и растительные организмы. Особенно это относится к таким ТРН, имеющим исключительно искусственное происхождение, как цезий-137 (^{137}Cs) и америций-241 (^{241}Am), которые могут поступать в результате как локального, так и глобального массопереноса. Ростовская область находится в зоне так называемого ветрового коридора, через который осуществляется транспорт воздушных масс северо-восточных и восточных румбов. Так, по сведениям [1], в 2011 г. в приземном слое атмосферы РФ, в том числе Ростовской области (РО), произошло резкое увеличение объемной активности ^{137}Cs . Как установлено, это возрастание вызвано влиянием выбросов, связанных с катастрофой на АЭС «Фукусима-1». И хотя оно не превысило существующей допустимой нормы объемной активности ^{137}Cs , тем не менее представляется тревожным сам факт обнаружения фукусимского следа на территории РО. Донные осадки служат главным образом депонирующей средой и, следовательно, могут сохранять длительное время информацию об относительно недавних и прошлых событиях радиоактивного загрязнения [2–9].

Определение уровней удельной активности ^{137}Cs в почвах, а ^{210}Pb в атмосферном воздухе РО представлено в работах [10–14] для исследования проблемы загрязнения радионуклидами этих сред. Изучение распределения ЕРН и ТРН (^{210}Pb , ^{137}Cs и ^{241}Am) в донных осадках рек и водоемов Азово-Черноморского бассейна проводилось ранее [2, 3, 6, 9] главным образом с целью определения скоростей осад-

конакопления. Однако определение удельной активности ЕРН и ТРН в донных осадках представляет важное значение не только для достижения этой цели, но и для выявления современного уровня радиоактивного загрязнения водных объектов, его генезиса, хронологии антропогенного воздействия и установления природного фона в региональных масштабах [2–5, 13]. Оригинальность настоящего исследования состоит в изучении удельной активности широкого спектра ЕРН и ТРН и валового содержания свинца по разрезу донных отложений р. Дон до глубины 1,0 м. При этом особый интерес представляет анализ данных по удельной активности ^{137}Cs и ^{241}Am и их связи с ЕРН.

^{241}Am образуется в результате деятельности человека, связанной с работой атомных энергетических и силовых установок, испытанием ядерного оружия, техногенных катастроф, производством и использованием ионизационных детекторов дыма (рис. 1).



Рис. 1. Источники поступления ^{241}Am в окружающую среду / Fig. 1. Sources of ^{241}Am in the environment

Объект, материалы и методы

Настоящая работа посвящена изучению распределения удельной активности широкого спектра радионуклидов в колонке донных отложений относительно глубокой скважины на станции отбора проб

(Ц1), расположенной в излучине р. Дон, в окрестностях станции Маньчской (рис. 2). Отбор проб донных отложений осуществлялся в затоне вблизи насосной станции, предназначенной для регулиро-

вания обводнения рисовых чеков. При помощи грунтовой трубки конструкции ГОИН отобрана колонка донных отложений мощностью 95 см. Она была разделена на 20 проб (табл. 1).

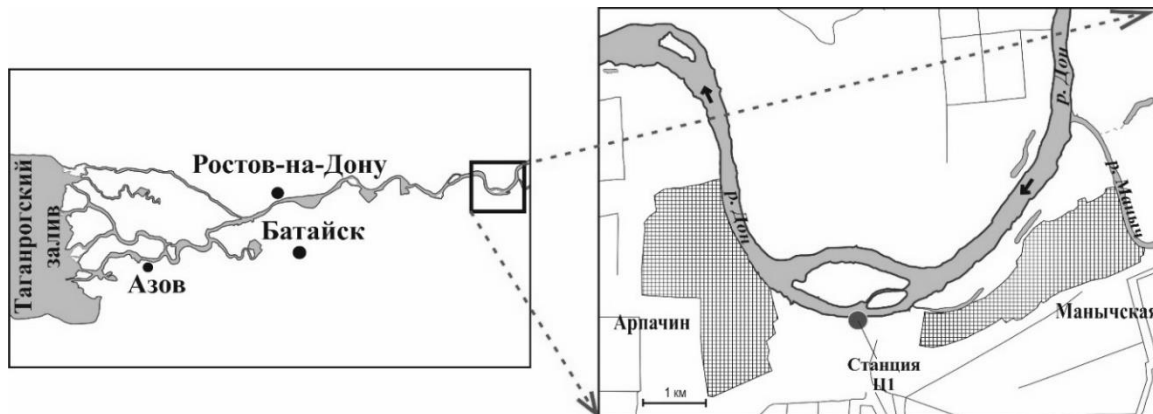


Рис. 2. Расположение станции Ц1 / Fig. 2. C1 station location

Таблица 1

Значения удельной активности ЕРН и ТРН в колонке донных отложений
 / The values of the specific activity of natural and artificial radionuclides in the column of bottom sediments

Глубина, см	Удельная активность, Бк/кг									Содержание, мг/г Pb
	²³⁸ U	²³⁴ Th	²³² Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Pb _{изб}	²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	
0,0–2,0	1,0	329,7	34,2	34,2	48,4	352,3	318,1	0,5	6,0	21,0
2,0–5,0	1,0	340,2	63,3	22,9	43,2	422,2	399,3	0,5	4,2	23,0
5,0–10,0	1,0	387,2	35,0	25,2	118,6	390,2	365,0	1,3	9,7	21,0
10,0–15,0	1,0	372,3	30,3	41,1	387,7	301,0	259,9	0,5	12,6	23,0
15,0–20,0	1,0	333,4	52,0	35,4	462,2	323,1	287,7	2,8	7,4	18,0
20,0–25,0	1,0	376,3	41,8	38,3	294,6	264,3	226,0	0,9	11,5	17,0
25,0–30,0	1,0	319,6	36,0	38,5	209,6	285,5	247,0	1,0	9,8	18,0
30,0–35,0	1,0	317,6	37,9	38,9	224,6	268,8	229,9	2,0	10,7	16,0
35,0–40,0	16,5	244,3	34,3	28,4	100,8	249,1	220,7	3,5	11,1	15,0
40,0–45,0	1,0	295,3	46,8	35,9	179,3	271,6	235,7	0,5	8,6	14,0
45,0–50,0	1,0	296,7	35,6	34,7	181,7	201,7	167,0	1,0	10,8	15,0
50,0–55,0	1,0	347,4	27,9	28,3	276,4	215,1	186,8	0,5	5,7	10,0
55,0–60,0	1,0	363,1	33,3	25,0	281,3	239,1	214,1	0,5	2,3	12,0
60,0–65,0	1,0	339,5	38,0	40,6	173,5	240,2	199,6	0,5	16,5	13,0
65,0–70,0	1,0	257,4	43,9	34,3	507,2	252,0	217,7	0,5	8,9	12,0
70,0–75,0	1,0	288,4	27,1	40,6	193,5	233,0	192,4	0,9	6,3	11,0
75,0–80,0	1,0	297,5	26,0	40,6	114,5	156,7	116,1	0,5	12,6	14,0
80,0–85,0	1,0	292,5	32,6	54,5	325,9	264,0	209,5	1,4	14,5	15,0
85,0–90,0	8,5	341,9	37,6	31,1	373,5	267,8	236,7	1,9	5,6	12,0
90,0–95,0	1,0	356,6	36,4	28,2	420,5	255,9	227,7	1,5	1,0	14,0

С помощью гамма-спектрометрического метода в лаборатории Ростовского государственного университета (ныне ЮФУ) применено послойное определение удельной активности следующих радионуклидов ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb, ²³⁴Th, ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am по методике, описанной в работах [2, 3, 13]. Погрешность определения радионуклидов составила не более 10–20%. Анализ проводился под руководством проф. М.Г. Давыдова аналитиком Е.А. Бураевой, которым авторы выражают благодарность. Расчет ²¹⁰Pb_{изб} («избыточного») производился путем вычитания из об-

щего ²¹⁰Pb, образовавшегося в результате распада ²²⁶Ra → ²²²Rn → ... → ²¹⁰Pb. Определение валового содержания свинца выполнено методом атомной абсорбции с погрешностью не более 5–10%. Донные отложения были представлены по всему разрезу глинистым илом от светло-серого до темно-серого цвета, с зеленоватым оттенком, небольшим содержанием растительных остатков и гнилостным запахом.

Расчет уравнений регрессии показал, что для удельной активности изотопов ²³⁴Th и ²³²Th наблюдался слабый тренд к снижению с глубиной (R=0,46

и 0,37), в то время как для ^{238}U он отсутствовал. Удельная активность ^{226}Ra показывала слабую тенденцию к возрастанию с глубиной. Более тесную прямую связь с глубиной ($R=0,61$) проявляла удельная активность ^{40}K . Поведение ^{226}Ra и ^{40}K может быть объяснено повышением содержания глинистого материала в донных осадках с глубиной при приближении к коренным отложениям ложа водотока. Была также рассчитана удельная активность $^{210}\text{Pb}_{\text{изб.}}$, поступающего в донные отложения исключительно через атмосферный канал. Полученные модели аппроксимации свидетельствуют о закономерной тенденции снижения удельной активности ^{210}Pb и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб.}}$ с глубиной, что обусловлено его постоянным поступлением из атмосферы и последующим радиоактивным распадом. Особый интерес представляет изучение распределения по длине колонки донных отложений удельных активностей искусственных изотопов ^{137}Cs и ^{241}Am . ^{137}Cs образуется при ядерных реакциях, имеет относительно короткий период полураспада и хорошо связывается глинистыми частицами. ^{241}Am , как и ^{137}Cs , является ТРН. В донных осадках основная часть ^{241}Am образуется *in situ* из плутония-241, а другая поступает из атмосферы, выделяясь во время ядерного технологического цикла и при использовании в бытовых приборах. Поэтому концентрация ^{241}Am в донных отложениях, например Азовского моря, со временем возрастала, в то время как ^{137}Cs снижалась [3]. Анализ зависимости удельной активности ^{137}Cs и ^{241}Am от глубины показал отсутствие между ними значимой связи. ^{241}Am , как и ^{137}Cs , присутствует по всему разрезу, что свидетельствует о поступлении ^{137}Cs и плутония-241 в реку Дон на протяжении длительного периода вплоть до настоящего времени. Распределение удельной активности ^{241}Am по профилю отличалось еще большей изменчивостью.

Рассмотрим тесноту связей между удельными активностями ЕНР и ТНР (табл. 2). Искусственные изотопы ^{241}Am и ^{137}Cs характеризовались слабой корреляционной зависимостью ($R=0,2$), что было обусловлено асинхронностью образования и различной степенью их связи с песчано-глинистым материалом. ^{241}Am проявил значимую связь с удельной активностью природных радионуклидов ^{234}Th и ^{226}Ra ($R=0,429$ и $0,331$). Наибольшей теснотой характеризовалась связь удельной активности ^{241}Am с

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляции (R) между содержанием радионуклидов / The values of correlation coefficients (R) between the content of radionuclides

	^{238}U	^{234}Th	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K	^{210}Pb	$^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$	^{241}Am	^{137}Cs
^{238}U	1,0								
^{234}Th	0,497	1,0							
^{232}Th	0,079	0,062	1,0						
^{226}Ra	0,263	0,268	0,340	1,0					
^{40}K	0,344	0,248	0,502	0,374	1,0				
^{210}Pb	0,095	0,428	0,614	0,474	0,572	1,0			
$^{210}\text{Pb}_{\text{изб.}}$	0,062	0,445	0,616	0,543	0,535	0,995	1,0		
^{241}Am	0,814	0,429	0,132	0,331	0,248	0,122	0,123	1,0	
^{137}Cs	0,264	0,316	0,246	0,684	0,136	0,292	0,362	0,2	1,0

таковой ^{238}U ($R=0,814$). Оба радионуклида могли поступать в водные объекты как через атмосферный канал в составе аэрозолей (микро- и наночастиц угольной пыли, золы), так и при разрушении берегов и смыве с почв при их синхронной эмиссии в процессе ядерного топливного цикла. В работе [15] доказано существование «горячих» (реакторных) америциевых микрочастиц, носителем которых являлся оксид урана. Выделяемый бытовыми и измерительными приборами ^{241}Am мог также сорбироваться на содержащих уран-238 частицах в атмосфере и воде с последующим осаждением в донные отложения. Не исключена также возможность его сорбции на частицах оксида урана *in situ* в процессе распада ^{241}Pu во время диагенеза донных осадков.

В табл. 2 приведены рассчитанные значения коэффициентов корреляции между удельной активностью ЕНР и ТНР в донных отложениях ст. Ц1.

Тесная связь установлена для пар $^{238}\text{U} - ^{234}\text{Th}$ ($R=0,497$), $^{40}\text{K} - ^{232}\text{Th}$ ($R=0,502$), ^{210}Pb ($R=0,572$), $^{210}\text{Pb}_{\text{изб.}} - ^{232}\text{Th}$ ($R=0,445$), $^{226}\text{Ra} - ^{40}\text{K}$ ($R=0,374$), ^{226}Ra и ^{232}Th ($R=0,340$). Удельная активность ^{137}Cs имела значимую связь с ^{234}Th , ^{226}Ra и ^{210}Pb , $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ ($R=0,316$, $0,684$ и $0,292$, $0,362$). Зависимость между удельной активностью ^{238}U и ^{234}Th объясняется радиоактивным распадом материнского урана с образованием дочернего короткоживущего радионуклида. Природные изотопы ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th характеризуются склонностью к симбатному накоплению в глинистых минералах и живом и отмершем органическом веществе. Удельная активность ^{210}Pb , $^{210}\text{Pb}_{\text{изб.}}$ проявляет значимую связь с таковой ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th .

Отметим, что ^{210}Pb попадает в донные осадки при поступлении из атмосферы свинца естественного и природно-антропогенного происхождения (продукты сгорания горючих полезных ископаемых, сажа, угольные частицы), а также ^{210}Pb как дочернего продукта распада радия-226. Полигенный источник изотопа подтверждается тесной прямой кор-

реляционной связью ($R=0,76$) между значением удельной активности $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ и валовым содержанием свинца (рис. 3), а также значимой регрессионной зависимостью от удельной активности ЕРН ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th .

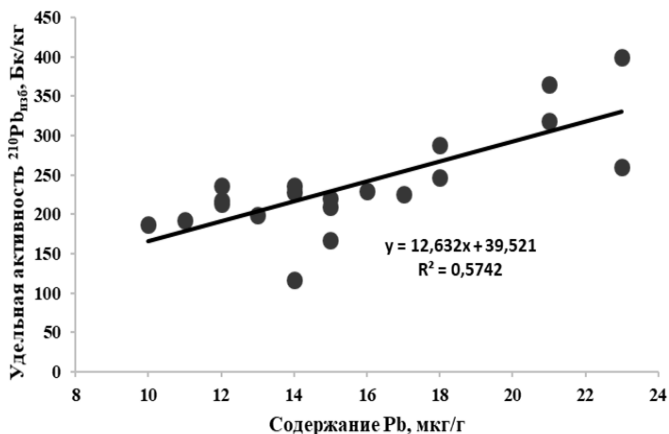


Рис. 3. Зависимость между удельной активностью $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ и валовым содержанием свинца / Fig. 3. The dependence between the specific activity $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ and total lead content

Очевидно, что эта связь с ЕРН обусловлена синхронным поступлением угольного вещества и продуктов его сгорания в окружающую среду. Как показано [13, 14], в углях Восточного Донбасса содержатся повышенные концентрации ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{226}Ra и ^{232}Th , а ^{40}K в глинистых прослоях.

В результате выполненных исследований впервые выявлены закономерности распределения ЕРН (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{234}Th) и ТРН (^{137}Cs и ^{241}Am), ^{210}Pb , а также валового содержания свинца в донных отложениях излучины реки Дон в районе ст. Манычской. Установлены источники и пути поступления в донные отложения реки Дон ЕРН и ТРН, а также причинно-следственные связи их распределения по метровому разрезу донных осадков. Значения удельной активности техногенных (искусственных) изотопов ^{137}Cs и ^{241}Am распределены по всему метровому разрезу донных осадков неравномерно. Присутствуют два пика удельной активности этих элементов, что обусловлено поступлением радионуклидов в результате чернобыльской аварии, а также других событий регионального и глобального масштабов. Отмечено, что всплеск уровня удельной активности ^{241}Am расположен несколько ниже такового ^{137}Cs . Полученные модели аппроксимации свидетельствуют о синхронной тенденции снижения удельной активности изотопов свинца ^{210}Pb и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ с глубиной, что обусловлено его перманентным поступлением из атмосферы и последующим радиоактивным распадом. В этом же направлении наблюдается уменьшение валового содержания свинца.

Литература

1. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных стран : ежегодник / под. ред. В.М. Шершакова, В.Г. Булгакова, И.И. Крышева, С.М. Вакуловского и др. М.; Обнинск : Тайфун, Росгидромет, 2015. 350 с.
2. Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А. Изучение хронологии аккумуляции нефтяных компонентов в донных отложениях Азовского моря и Нижнего Дона с использованием радиоизотопов как трассеров // Геология морей и океанов : материалы XIX Междунар. науч. конф. (школы) по морской геологии. Т. 4. М. : Геос, 2011. С. 250–254.
3. Fedorov Yu.A., Kuznetsov A.N., Trofimov M.E. Sedimentation Rates in the Sea of Azov Inferred from Cs-137 and Am-241 Specific Activity // Doklady Earth Sciences, Russia-USA. 2008. Vol. 423, № 8. P. 1333–1334.
4. Fedorov Yu., Kuznetsov A. Regularities of U-238, Th-234 and Th-232 distribution in water and bottom sediments of waterbodies and watercourses of the Sea of Azov drainage basin // Conference Proceedings of 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2016. Bulgaria, 2016. В. 5, vol. I. P. 569–575. DOI 10.5593/SGEM2016/B51/S20.076.
5. Kuznetsov A., Fedorov Yu., Fattal P. Chronology of Contemporary Sedimentation and Pollutants Accumulation in the Bottom Sediments of the Sea of Azov // EMECS'11 SeaCoasts XXVI. Joint conference. Managing Risks to Coastal Regions and Communities in a Changing World. S-Pb, 2016. P. 70. URL: http://emecs-sc2016.com/files/abstract_book.pdf (дата обращения: 11.02.2017).
6. Федоров Ю.А., Трофимов М.Е. Современные скорости седиментации в Азовском море в свете изучения распределения искусственных радионуклидов по разрезу донных отложений // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естеств. науки. 2008. № 5. С. 108–115.
7. Федоров Ю.А., Кузнецов А.Н., Давыдов А.Г. Цезий-137 в воде и донных отложениях (по результатам экспедиции «Азовское море – 2006») // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естеств. науки. Науки о Земле. 2007. С. 26–31.
8. Ярославцев В.М., Федоров Ю.А. ^{238}U , ^{234}Th и ^{232}Th в донных отложениях рек Дон и Маныч // Актуальные проблемы наук о Земле : сб. тр. II науч. конф. студентов и молодых ученых с междунар. участием. Ростов н/Д. : Изд-во ЮФУ, 2016. С. 239–242.
9. Матишов Г.Г., Ковалева Г.В., Польшин В.В. Новые данные о скорости седиментации в Азовском море в позднем голоцене // Докл. Академии Наук. 2009. Т. 428, № 6. С. 820–823.
10. Давыдов М.Г., Бураева Е.А., Зорина Л.В., Малышевский В.С., Стасов В.В. Радиоэкология : учебник для вузов. Ростов н/Д. : Феникс, 2013. 635 с.
11. Кандашова Е.В., Пронин А.Н., Крыщенко В.С., Бирюкова О.А., Абрамова Т.И. Содержание радионуклидов в почвах и растениях 30-километровой зоны влияния Волгодонской АЭС // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2007. № 6. С. 95–99.

12. Бурева Е.А., Мальшевский В.С., Вардун Т.В., Шиманская Е.И., Триболина А.Н., Гончаренко А.А., Гончарова Л.Ю., Тоцкая В.С., Нефедов В.С. Содержание и распределение естественных радионуклидов в различных типах почв Ростовской области // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9652> (дата обращения: 14.07.2017).

13. Давыдов М.Г., Тимонина Ю.А. Радиационная обстановка в районе расположения ГРЭС Ростовской области // Теплоэнергетика. 2003. № 12. С. 8–13.

14. Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов – примесей в углях. Ростов /Д. : СКНЦ ВШ, 2002. 296 с.

15. Сухорук Ф.В., Маликова И.Н., Гавшин В.М. Техногенные радионуклиды в окружающей среде Западной Сибири (источники и уровни загрязнения) // Сибирский экол. журн. 2000. Т. 7, № 1. С. 31–38.

References

1. Radiatsionnaya obstanovka na territorii Rossii i so-predel'nykh stran [Radiation situation on the territory of Russia and neighboring countries]. Yearbook. Eds. V.M. Shershakov, V.G. Bulgakov, I.I. Kryshev, S.M. Vakulovskii i dr. Moscow; Obninsk: Taifun, Rosgidromet, 2015, 350 p.

2. Kuznetsov A.N., Fedorov Yu.A. [A study of the chronology of the accumulation of oil components in the bottom sediments of the Azov Sea and the Lower Don using radioisotopes as tracers]. *Geologiya morei i okeanov* [Geology of the seas and oceans]. Materials of the XIX International Scientific Conference (School) in Marine Geology. Moscow: Geos, 2011, vol. 4, pp. 250-254.

3. Fedorov Yu.A., Kuznetsov A.N., Trofimov M.E. Sedimentation Rates in the Sea of Azov Inferred from Cs-137 and Am-241 Specific Activity. *Doklady Earth Sciences, Russia-USA*. 2008, vol. 423, No. 8, pp. 1333-1334.

4. Fedorov Yu., Kuznetsov A. Regularities of U-238, Th-234 and Th-232 distribution in water and bottom sediments of waterbodies and watercourses of the Sea of Azov drainage basin. *Conference Proceedings of 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2016*. Bulgaria, 2016, book 5, vol. I, pp. 569-575. DOI 10.5593/SGEM2016/B51/S20.076.

5. Kuznetsov A., Fedorov Yu., Fattal P. Chronology of Contemporary Sedimentation and Pollutants Accumulation in the Bottom Sediments of the Sea of Azov. *EMECs'11 SeaCoasts XXVI. Joint conference. Managing Risks to Coastal Regions and Communities in a Changing World*. Saint Petersburg, 2016, p. 70. Available at: http://emecs-sc2016.com/files/abstract_book.pdf (accessed 11.02.2017).

6. Fedorov Yu.A., Trofimov M.E. Sovremennye skorosti sedimentatsii v Azovskom more v svete izucheniya raspredeleniya iskusstvennykh radionuklidov po razrezu donnykh otlozhenii [Current sedimentation

rates in the Sea of Azov in the light of the study of the distribution of artificial radionuclides from the bottom sediments section]. *Izv. vuzov. Sev.-Kav. region. Estestv. nauki*. 2008, No. 5, pp. 108-115.

7. Fedorov Yu.A., Kuznetsov A.N., Davydov A.G. Tsezii-137 v vode i donnykh otlozheniyakh (po rezul'tatam ekspeditsii "Azovskoe more - 2006") [Cesium-137 in water and bottom sediments (based on the results of the "Azov Sea - 2006" expedition)]. *Izv. vuzov. Sev.-Kav. region. Estestv. nauki. Nauki o Zemle*. 2007, pp. 26-31.

8. Yaroslavtsev V.M., Fedorov Yu.A. [238U, 234Th and 232Th in the bottom sediments of the rivers Don and Manykh]. *Aktual'nye problemy nauk o Zemle* [Actual problems of the Earth sciences]. Collection of proceedings of the II Scientific Conference of students and young scientists with international participation. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2016, pp. 239-242.

9. Matishov G.G., Kovaleva G.V., Pol'shin V.V. Novye dannye o skorosti sedimentatsii v Azovskom more v pozdnem golotsene [New data on the rate of sedimentation in the Azov Sea in the late holocene]. *Dokl. Akademii nauk*. 2009, vol. 428, No. 6, pp. 820-823.

10. Davydov M.G., Buraeva E.A., Zorina L.V., Malyshevskii V.S., Stasov V.V. *Radioekologiya* [Radioecology]. Textbook for universities. Rostov-on-Don: Feniks, 2013, 635 p.

11. Kandashova E.V., Pronin A.N., Kryshchenko V.S., Biryukova O.A., Abramova T.I. Soderzhanie radionuklidov v pochvakh i rasteniyakh 30-kilometrovoy zony vliyaniya Volgodonskoi AES [The content of radionuclides in soils and plants of the 30 km zone of influence of the Volgodonsk NPP]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*. 2007, No. 6, pp. 95-99.

12. Buraeva E.A., Malyshevskii V.S., Varduni T.V., Shimanskaya E.I., Tribolina A.N., Goncharenko A.A., Goncharova L.Yu., Totskaya V.S., Nefedov V.S. Soderzhanie i raspredelenie estestvennykh radionuklidov v razlichnykh tipakh pochv Rostovskoi oblasti [The content and distribution of natural radionuclides in different types of soils in the Rostov Region]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013, No. 4. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9652> (accessed 14.07.2017).

13. Davydov M.G., Timonina Yu.A. Radiatsionnaya obstanovka v raione raspolozheniya GRES Rostovskoi oblasti [Radiation situation in the area of the GRES location of the Rostov Region]. *Teploenergetika*. 2003, No. 12, pp. 8-13.

14. Kizil'shtein L.Ya. *Ekogeokhimiya elementov - primesei v uglyakh* [Ecogeochemistry of elements - impurities in coals]. Rostov-on-Don: SKNTs VSh, 2002, 296 p.

15. Sukhorukov F.V., Malikova I.N., Gavshin V.M. Tekhnogennye radionuklidy v okruzhayushchei srede Zapadnoi Sibiri (istochniki i urovni zagryazneniya) [Technogenic radionuclides in the environment of Western Siberia (sources and levels of pollution)]. *Sibirskii ekol. zhurn*. 2000, vol. 7, No. 1, pp. 31-38.