

УДК 551.521.2

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНЫЕ АНОМАЛИИ
В УЩЕЛЬЕ РЕКИ СИОМА В ЦЕНТРАЛЬНОМ ТАДЖИКИСТАНЕ**

Д.А. Абдушукуров, Д. Абдусамадзода

В ущелье реки Сиома, в 50 км севернее Душанбе, обнаружены геохимические и изотопные аномалии. Концентрация техногенного изотопа ^{137}Cs превышает средний фон в регионе Центральная Азия от 20 до 100 раз. Концентрация дочернего изотопа радона ^{210}Pb превышает средний фон в ущелье Варзоб в 20 раз. В то же время, наблюдается аномалия в распределении урана в почвах. Эти аномалии связаны с урановым рудопроявлением в 600 м от входа в ущелье и воздушным механизмом переноса изотопов.

Ключевые слова: ущелье Сиома; ущелье Варзоб; уран; торий; радиоактивные изотопы.

**БОРБОРДУК ТАЖИКИСТАНДЫН СИОМ ДАРЯЯСЫНЫН
КАПЧЫГАЙЫНДАГЫ ГЕОХИМИЯЛЫК ЖАНА ИЗОТОПТУК АНОМАЛИЯЛАР**

Д.А. Абдушукуров, Д. Абдусамадзода

Сиом дарьясынын капчыгайында Душанбе шаарынан 50 км түндүктө геохимиялык жана и зотоптук аномалиялар табылган. Техногендик изотоптун ^{137}Cs концентрациясы Борбордук Азия аймагындагы орточо фондон 20дан 100 эсеге чейин жогору. Изотоп радондун ^{210}Pb концентарциясы Варзоб капчыгайындагы орточо деңгээлден 20 эсе жогору. Ошол эле учурда жер кыртышында урандын тарашында да аномалиялар кездешет. Бул аномалиялар капчыгайдын кире беришинен 600 м алыстыкта уран кенинин пайда болушу жана изотоптордун аба аркылуу өтүү механизми менен байланышкан.

Түйүндүү сөздөр: Сиом капчыгайы; Варзоб капчыгайы; уран; торий; радиоактивдүү изотоптор.

**GEOCHEMICAL AND ISOTOPIC ANOMALIES
IN SIOMA RIVER GORGE IN CENTRAL TAJIKISTAN**

D.A. Abdushukurov, D. Abdusamadzoda

In the gorge of the Sioma River, in 50 km north from Dushanbe, geochemical and isotopic anomalies were discovered. The concentration of the technogenic isotope ^{137}Cs exceeds the average background in the Central Asia region from 20 to 100 times. The concentration of the daughter isotope of radon ^{210}Pb exceeds the average background in the Varzob gorge by 20 times. At the same time, an anomaly is observed in the distribution of uranium in soils. These anomalies are associated with the uranium ore occurrence in 600 m from the entrance of the gorge and with air mechanism of isotope transferring.

Keywords: Sioma gorge; Varzob gorge; uranium; thorium; radioactive isotopes.

В работах по исследованию распределения изотопов вдоль реки Варзоб в Центральном Таджикистане [1, 2], а также по гидрохимии вод [3] и геохимии донных отложений и почв [4] были замечены две геохимические аномалии в Варзобском ущелье. Первая была связана с уще-

льем Оджук, а вторая с входом в ущелье Сиома. На эти же аномалии было обращено внимание при выполнении международного эксперимента “Навруз” [5–7]. Известно, что в верховьях ручья Оджук расположено большое пегматитовое поле (шириною 27,5 км), а аномалия в районе Сиома

Таблица 1 – Координаты точек отбора (по GPS), высота над уровнем моря и расстояние от входа в ущелье

	№	Река	Координаты		Высота м н.у.м.	Расстояние м	Комментарии
			широта	долгота			
1	S1	Пр.р. Сиома	38,9668	68,7503	2631	10300	Левобережный
2	S2	Пр.р. Сиома	38,9687	68,7422	2705	10200	Правобережный
3	S3	Пр.р. Сиома	38,9651	68,7284	2478	7800	Левобережный
4	S4	Пр.р. Сиома	38,9638	68,7154	2184	5200	Правобережный
5	S5	Пр.р. Сиома	38,9642	68,7014	2123	4000	Левобережный
6	S6	Пр.р. Сиома	38,9561	68,6716	2057	2800	Левобережный
7	S7	Пр.р. Сиома	38,9444	68,6482	1893	1700	Левый приток
8	S8	Пр.р. Сиома	38,9478	68,6467	1871	640	Правый приток
9	S9	Сиома	38,9683	68,7596	1751	0	Пр. р. Варзоб

Пр.р. – приток реки.

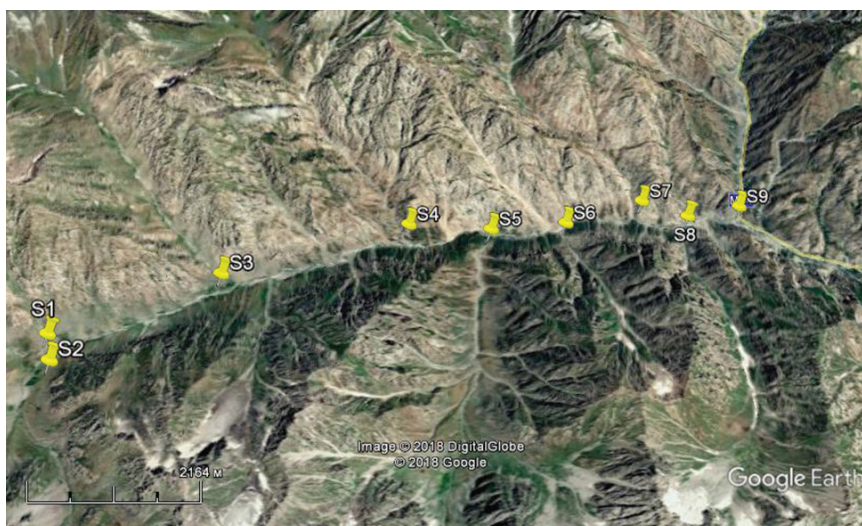


Рисунок 1 – Карта отбора проб в ущелье реки Сиома

оставалась неизученной. В почвах и донных отложениях Сиома было обнаружено повышенное содержание урана, тория и сопутствующих им радиоактивных изотопов. Кроме того, было обнаружено повешенное содержание техногенного радиоактивного изотопа ^{137}Cs .

С целью выяснения природы этой аномалии были проведены дополнительные исследования в ущелье реки Сиома.

Объекты и методы исследований. Река Сиома является правобережным притоком р. Варзоб. Место слияния находится примерно

в 50 км к северу от Душанбе. Ущелье р. Сиома простирается параллельно Гиссарскому хребту и имеет восточно-западную ориентацию. Длина ущелья примерно 17 км. Ущелье достаточно узкое. Ширина ущелья не превышает 500 метров. Обрамлено горами, имеющими снежные и ледниковые вершины высотой 3500–4600 м. На входе в ущелье горы невысокие – высота 2500–2700 м (абсолютная высота 800–1000 м). Достаточно часто наблюдается сильный ветер, всасывающий воздух в ущелье и дующий вдоль ущелья в западном направлении.

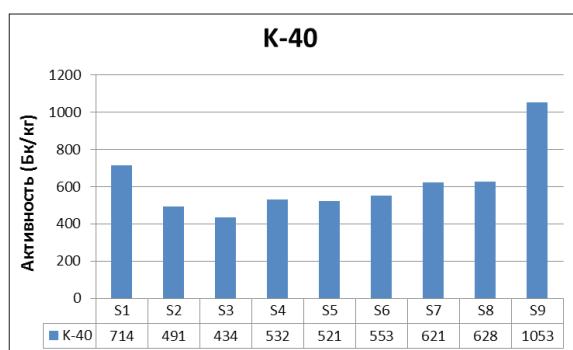


Рисунок 2 – Распределение K-40 в ущелье реки Сиома

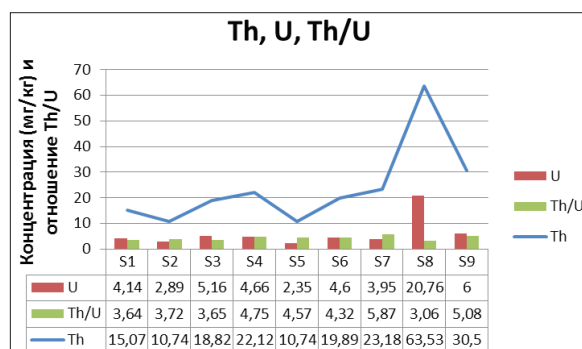


Рисунок 3 – Распределение Th, U и Th/U отношения в ущелье реки Сиома

Бассейн р. Сиома в геологическом отношении относится к Южногиссарской структурно-формационной зоне Центрального Таджикистана (Южный Тянь-Шань). Бассейн реки находится в многофазном Гиссарском батолите, сложенном различными гранитоидами среднекаменноугольного-раннепермского возраста и местами прорванный раннемезозойскими дайками лампрофиров и трубками взрывов со щелочными базальтами.

Бассейн реки находится в зоне выпадения аэрозолей от пылевых бурь “Афганцев”, но благодаря крутым берегам ущелья и обильным осадкам частицы пыли смываются в реку, хотя местами образуют лессовые почвы небольшой глубины [8].

Карта отбора проб приведена на рисунке 1. Следует отметить, что в связи с очень быстрым течением воды в р. Сиома и ее притоках и гранитным ложем рек, собрать образцы донных отложений во многих точках было невозможно (таблица 1).

Гамма-спектрометрию проводили с использованием гамма-спектрометра высокого разрешения с использованием сосуда Маринели объемом 500 см³ на коаксиальном Ge детекторе (XtRa) GX-1020 с помощью многоканального анализатора DSA-1000 под управлением программного обеспечения Genie-2000 фирмы Канбера.

Элементный анализ концентрации урана и тория в образцах проводили при помощи нейтронно-активационного анализа, проведенного в Институте ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан, г. Улугбек [5].

Результаты аналитических исследований. На всех представленных рисунках левая

часть соответствует концу ущелья (ее высокогорной части).

Были проведены гамма-спектрометрические измерения активности натуральных и техногенных изотопов. Концентрация K-40 измерялась при помощи гамма спектрометрии, результаты представлены на рисунке 2.

В распределении ⁴⁰K отмечено два пика на входе в ущелье и в конце. Среднемировое содержание этого изотопа в составе почв составляет 400–700 Бк/кг. На входе ущелья концентрация ⁴⁰K выше мировых значений на 50 %.

Измерение концентраций урана и тория в образцах выявило интересную картину, которая сложилась в точке S-8, где концентрация урана в 3–8 раз выше чем в остальных точках (рисунок 3).

Необходимо отметить резкое возрастание содержания урана в точке S-8. Одновременное резкое возрастание содержания тория в этой точке исключает возможность случайного статистического выброса.

Как уже отмечалось, на всей территории ущелья р. Варзоб в распределениях радиоактивных изотопов Уранового ряда отмечается нарушение радиационного равновесия с повышенным содержанием изотопа Рb-210 [1, 2].

Картина распределения изотопов уранового и ториевых рядов показана на рисунке 4. Для лучшей наглядности изотоп Рb-210 показан на отдельной картине, где резко выделяется точка S-8, что еще раз доказывает наличие рудопроявления урана в этой точке.

Радон переносится ветрами и его дочерний изотоп ²¹⁰Pb может концентрироваться в горах со сложным рельефом. На рисунке 5 показана

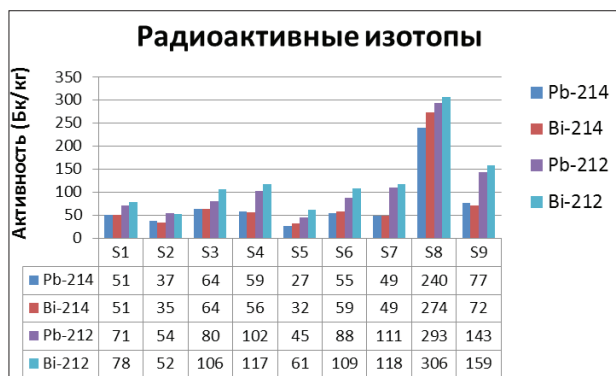


Рисунок 4 – Распределение изотопов уран-ториевых рядов в ущелье реки Сиома

картина распределения этого изотопа в ущелье Сиома.

Также интересно выглядят данные по распределению изотопа ^{137}Cs в исследуемых почвах. Будучи техногенным радиоактивным изотопом, ^{137}Cs производит загрязнение территорий лишь в результате ядерных испытаний или катастроф, типа Чернобыльской аварии [9].

На рисунке 6 представлено распределение изотопа ^{137}Cs в ущелье р. Сиома. На этом же рисунке приведено значение средней рассеянной концентрации изотопа ^{137}Cs по региону Центральной Азии (2 Бк/кг).

Обсуждение полученных результатов. Отмечено повышенное содержание калия в начале ущелья и в его конце, что может быть связано с выпадением пылевых аэрозолей. Пыльные бури зарождаются в пустыне Сахара и пролетают долгий путь через Аравийский полуостров, Иран и Афганистан. В ходе передвижения аэрозолей в первую очередь выпадают крупные частицы и тяжелые минералы, оставшаяся пыль обогащается легкими минералами, в том числе и калием. На входе в ущелье Сиома происходит резкая смена направления ветра, и он буквально облизывает поверхность скалы, что приводит к повышенному выпадению аэрозолей. В конце ущелья ветра и пыль упираются в высокие скалы, что также может привести к повышенному выпадению аэрозолей. Примерное равенство изотопа ^{40}K в образцах средней части ущелья свидетельствует о примерно одинаковом геологическом и геохимическом происхождении почв на всем протяжении ущелья. Это лессовые почвы небольшой глубины.

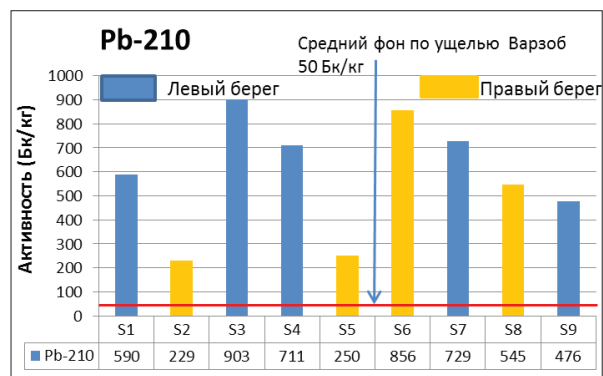


Рисунок 5 – Распределение изотопа ^{210}Pb в образцах почв

Повышенная концентрация урана и тория и свидетельствует о том, что в бассейне ручья на точке S-8 расположены урансодержащие месторождения или рудопоявления, которые находятся либо близко к поверхности, либо они большой мощности.

Кларки тория и урана в земной коре равны 9,6 и 2,7 мкг/г [10]. В горной части концентрация тория и урана в донных отложениях и почвах повсеместно выше кларков. Кларковое отношение концентраций тория и урана (Th/U) равно 3,6. В точке S-8 отношение Th/U равно 3,06, что может свидетельствовать о преимущественно урановой минерализации в данной точке.

На рисунке 4 видно, что в точке S-8 радиационное равновесие радиоактивных изотопов уранового ряда (^{214}Pb , ^{214}Bi) и ториевого ряда (^{212}Pb , ^{212}Bi) находится в нарушенном состоянии. Если практически во всем ущелье активность изотопов ториевого ряда превышает урановые примерно в два раза, то в точке S-8 превышение составляет не более 20 %, что также свидетельствует о преимущественно урановой минерализации в ущелье Сиома. В ущелье Оджук активность изотопов ториевого ряда превышают урановые более чем в 4 раза, так как в Оджуке преимущественно развита ториевая минерализация [1, 2].

В некоторых точках содержание ^{210}Pb (дочернего изотопа радона) превышает равновесное содержание изотопов уранового ряда в десятки раз. Этот феномен объясняется воздушным переносом радона, а источником его образования служит Оджукское пегматитовое поле и весь Гиссарский гранитовый батолит.

Таблица 2 – Данные корреляционного анализа измеренных изотопов и концентраций тория и урана

	<i>Pb-214</i>	<i>Bi-214</i>	<i>Pb-210</i>	<i>Pb-212</i>	<i>Bi-212</i>	<i>K-40</i>	Cs-137	Th	U
<i>Pb-214</i>	1,00								
<i>Bi-214</i>	1,00	1,00							
<i>Pb-210</i>	0,06	0,05	1,00						
<i>Pb-212</i>	0,97	0,96	0,10	1,00					
<i>Bi-212</i>	0,97	0,95	0,16	0,99	1,00				
<i>K-40</i>	0,15	0,11	-0,16	0,30	0,29	1,00			
<i>Cs-137</i>	-0,17	-0,20	0,82	-0,09	-0,01	0,09	1,00		
<i>Th</i>	0,97	0,96	0,12	1,00	1,00	0,28	-0,07	1,00	
<i>U</i>	1,00	1,00	0,06	0,96	0,96	0,13	-0,19	0,97	1,00

Несмотря на то, что такое загрязнение является природным (естественным), опасность ситуации усугубляется тем, что на территории ущелья р. Сиома производится выпас скота. В этом случае радиоактивный свинец по пищевым цепям может попасть в организм человека.

Анализ распределений концентраций техногенного изотопа ¹³⁷Cs показывает, что его содержание в исследованных образцах колеблется от 20 до 200 Бк/кг. Фоновая концентрация этого изотопа в регионе Центральной Азии не превышает 2 Бк/кг.

Резкое различие в активности изотопов, отобранных на левом берегу от правого, очевидно связано со сложным рельефом, ущелье извилистое с многочисленными поворотами. Точки на правом берегу (за исключением точки S6) оказываются экранированными от ветров нижележащими скалами, что в совокупности с преимущественно западными ветрами объясняет этот феномен.

Проведен корреляционный анализ измеренных изотопов и концентраций тория и урана в образцах. Результаты анализа показаны в таблице 2.

Изотопы ²¹⁴Pb и ²¹⁴Bi принадлежат урановому ряду и сильно коррелируют с концентрацией урана, что нельзя сказать об изотопе ²¹⁰Pb. Изотопы ториевого ряда ²¹²Pb, ²¹²Bi также сильно коррелируют с концентрацией тория. Изотопы ¹³⁷Cs и ²¹⁰Pb также хорошо коррелируют друг с другом с $r^2 = 0,82$.

Изотопы ²¹²Pb и ²¹²Bi являются дочерними изотопами торона (²²⁰Rn) с периодом полурас-

пада 55,6 с [11]. Столь незначительное время жизни торона не позволяет дочерним изотопам разлетаться далеко от своих источников.

Радон (²²²Rn) имеет период полураспада 3,8 дня, он обычно скапливается в низинах, в горных условиях у поверхности рек, и при наличии мощных ветровых потоков может перемещаться в пространстве. В объектах биосферы радон определяют по наличию его дочернего изотопа ²¹⁰Pb [11].

На рисунке 7 показана корреляция между распределениями природного радиоактивного изотопа ²¹⁰Pb, являющегося продуктом распада природного урана и радиоактивным изотопом ¹³⁷Cs техногенного происхождения, образующегося при проведении испытаний ядерного оружия (в Китае, Пакистане и Индии), или крупных катастрофах типа аварий в Чернобыле и Фукусиме. Обнаруженная корреляция может быть объяснена только одинаковым механизмом пе-

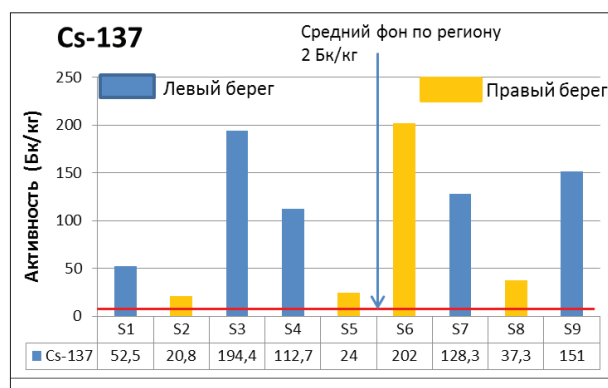


Рисунок 6 – Распределение ¹³⁷Cs в ущелье реки Сиома

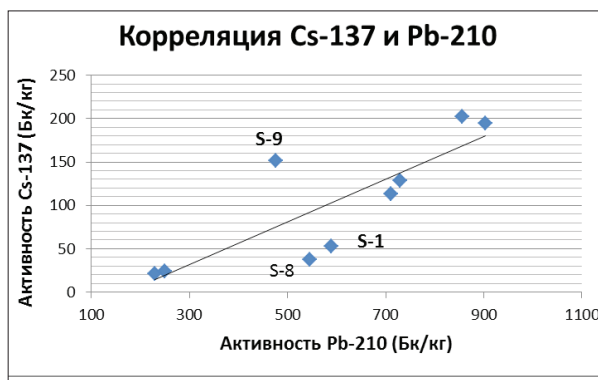


Рисунок 7 – Корреляция изотопов ^{137}Cs и ^{210}Pb в образцах почвы ущелья реки Сиома

реноса – переносом загрязнений воздушными потоками. Предполагая, что в составе воздушного аэрозоля присутствует ^{137}Cs и ^{222}Rn , который с периодом полураспада 3,6 дня превращается в Pb-210, ничего удивительного в такой корреляции нет.

На рисунке 7 можно выделить 3 аномальные точки: S-1, S-8 и S-9. В начале ущелья (S-9) фронтально расположена скала, которая перехватывает нижние потоки ветра (500–700 м) и направляет их в ущелье Сиома. Радон, будучи в 8 раз тяжелее воздуха, перемещается в нижних слоях. Резкая смена направления ветра вынуждает аэрозоли соприкоснуться с поверхностью скалы, что и приводит к усиленному выпадению аэрозолей, в том числе радону и Cs-137.

В точке S-8 наблюдается повышенная активность ^{210}Pb , что очевидно связано с месторождением урана, добавляется местный радон. В то же время в точке обнаруживается малая концентрация ^{137}Cs , что можно объяснить экранированием точки отбора образцов нижележащей скалой.

В точке S-1 наблюдается уменьшенная активность ^{137}Cs по сравнению с ^{210}Pb , что сложно объяснить, нужны дополнительные исследования.

Заключение. Отмечено высокое содержание радиоактивного изотопа ^{137}Cs в составе почвы в ущелье р. Сиома. Отмеченные загрязнения значительно (от 20 до 100 раз) превышают средний уровень аналогичных загрязнений (2 Бк/кг) в регионе Центральной Азии. В ущелье наблюдается повышенный фон дочернего изотопа радона ^{210}Pb . Максимальная активность изотопа составляет 900 Бк/кг, что почти в 20 раз выше средней активности в ущелье реки Варзоб. При-

чиной образования аномалий в накоплении изотопов ^{137}Cs и ^{210}Pb является воздушный перенос изотопов и сложный горный рельеф. Мы предполагаем, что в ущелье Сиома, на правом берегу в 600 м от входа, есть крупное рудопроявление урана и для его изучения необходимы комплексные геофизические и геологические изыскания.

Литература

1. *Abdushukurov D.A.* Distribution of radioactive isotopes in the mountain and piedmont regions of Central Tajikistan Varzob river valley / D.A. Abdushukurov, D. Abdusamadzoda, A.A. Djuraev, O. G. Dului, M.V. Frontasyeva // J Radioanalytical and Nuclear Chemistry, (2018), pp 1–7, <https://doi.org/10.1007/s10967-018-6206-5>
2. *Абдушукуров Д.А.* Особенности распространения радиоактивных изотопов в горных и предгорных районах Центрального Таджикистана / Д.А. Абдушукуров, Д. Абдусамадзода, А.А. Джураев, З.В. Кобулиев // Вестник КPCУ. 2018. Том 18. № 12. С. 101–107.
3. *Abdushukurov D.A.* Heavy metals in the waters of Tajikistan's Rivers / D.A. Abdushukurov // International Journal of Scientific & Engineering Research. France. Vol. 7. Iss. 10, Oct 2016. P. 63–73.
4. *Абдушукуров Д.А.* Элементный состав донных отложений реки Варзоб / Д.А. Абдушукуров, Д. Абдусамадзода, Д.Ф. Стоцкий // Наука и инновации. Серия геологических и технических наук. Душанбе: ТНУ, 2018. № 3. С. 35–42.
5. *Passell H.* The Navruz Project: Transboundary monitoring for radionuclides and metals in Central Asian rivers / H. Passell, D. Barber, D. Betsill, A. Littlefield, R. Matthews, A. Mohagheghi, S. Shanks, C. Yuldashev, U. Salikhbaev, R. Radyuk, Akram Djuraev, Anwar Djuraev, I. Vasiliev, B. Tolongutov, V. Alekhina, V. Solodukhin, and V. Pozniak // SAND Report. 2003.
6. *Barber D.S.* The NAVRUZ experiment: Cooperative monitoring for radionuclides and metals in Central Asia transboundary rivers / D.S. Barber, D. Betsill, A.H. Mohagheghi, H. Passell, U. Salikhbaev, A. Djuraev, I. Vasiliev, V. Solodukhin // Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2005. Vol. 263. No. 1. P. 213–218.
7. *Yuldashev B.S.* Radioecological monitoring of Transboundary Rivers of the Central Asian Region / B.S. Yuldashev, U.S. Salikhbaev, A.A. Kist, R.I. Radyuk, D.S. Barber, H.D. Passell, J.D. Betsill, R. Matthews, E.D. Vdovina, L.I. Zhuk, V.P. So-

- Iodukhin, V.L. Poznyak, L.A. Vasiliev, V.M. Alekhina, A.A. Djuraev // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. Vol. 263. No. 1. 2005. 219–228.
8. *Indoitu R.* Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variations / R. Indoitu, L. Orlovsky, N. Orlovsky // *J. Arid Environ.* 2012. 85:62–70.
9. *Pravalie R.* Nuclear Weapons Tests and Environmental Consequences: A Global Perspective / R. Pravalie // *AMBIO*. 2014. 43:729–734.
10. *Rudnick R.* In: Holland, HD, Turekian, KK (eds) *Treatise on Geochemistry* / R. Rudnick, S. Gao. Vol. 3. Elsevier-Pergamon. London: Oxford, 2013.
11. *Химическая энциклопедия* / редкол.: И.Л. Кнунянц и др. М.: Советская энциклопедия, 1995. Т. 4. 639 с.