

- dvigatelej na okruzhajushhuju sredu // Itogi nauki i tehniki. – M., 1993. – 238 s.
5. *Terehova V.A.* Biotestirovanie pochv: podhody i problemy // Pochvovedenie. – 2011. – № 2. – S. 190–198.
6. *Fedorova A.I., Nikol'skaja A.N.* Avtotransport – osnovnoj zagraznitel' biosfery bol'shih gorodov: praktikum po jekologii i ohrane okruzhajushhej sredy. – M.: VLADOS, 2001. – 288 s.
7. *Uskov A.V.* Nakoplenie razlichnyh vrednyh veshhestv v osadkah. – L.: Gidrometeoizdat, 1982. – 168 s.



УДК 504.453

*А.Ж. Ташекова, С.Н. Лукашенко,
М.Т. Койгельдинова, Н.Ж. Мухамедияров*

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ВОДЫ р. ШАГАН

*A.Zh. Tashekova, S.N. Lukashenko,
M.T. Koygeldinova, N. Zh. Mukhamediyarov*

CHARACTERISTIC OF ELEMENT STRUCTURE OF WATER r. SHAGAN

Ташекова А.Ж. – канд. биол. наук, инженер лаб. элементного анализа Института радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра Республики Казахстан, г. Курчатов. E-mail: Esenzholova@nnc.kz

Лукашенко С.Н. – канд. биол. наук, зам. генерального директора по радиоэкологии Национального ядерного центра Республики Казахстан, г. Курчатов. E-mail: lukashenko@nnc.kz

Койгельдинова М.Т. – канд. биол. наук, руководитель лаб. элементного анализа Института радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра Республики Казахстан, г. Курчатов. E-mail: koigeldinova@nnc.kz

Мухамедияров Н.Ж. – инженер лаб. элементного анализа Института радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра Республики Казахстан, г. Курчатов. E-mail: mukhamediyarov@nnc.kz

Tashekova A.Zh. – Cand. Biol. Sci., Engineer, Lab. of Element Analysis, Institute of Radiation Safety and Ecology, National Nuclear Center, the Republic of Kazakhstan, Kurchatov. E-mail: Esenzholova@nnc.kz

Lukashenko S.N. – Cand. Biol. Sci., the Deputy Chief in Radio Ecology, National Nuclear Center, the Republic of Kazakhstan, Kurchatov. E-mail: lukashenko@nnc.kz

Koygeldinova M.T. – Cand. Biol. Sci., Head, Lab. of Element Analysis, Institute of Radiation Safety and Ecology, National Nuclear Center, the Republic of Kazakhstan, Kurchatov. E-mail: koigeldinova@nnc.kz

Mukhamediyarov N. Zh. – Engineer, Lab. of Element Analysis, Institute of Radiation Safety and Ecology, National Nuclear Center, the Republic of Kazakhstan, Kurchatov. E-mail: mukhamediyarov@nnc.kz

В статье представлены результаты исследований элементного состава воды р. Шаган на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона. В русле р. Шаган имеется искусственный водоём озера Атомное, который является результатом промышленного ядерного взрыва. Основное внимание на полигоне обращали на радионук-

лидное загрязнение как источник опасности для местного населения. На данный момент в пойме р. Шаган ведется несанкционированная хозяйственная деятельность – выпас скота. Имеющейся информации недостаточно, и для оценки качества воды необходимо изучение наряду с радионуклидным также элементного состава. Концентрации изученных элементов

превышают средние значения для речных вод, в том числе содержание стронция – в сотни раз, а остальные химические элементы (ХЭ) – в десятки раз. Превышения ПДК отмечены для лития (5 ПДК), железа, стронция и урана (1 ПДК). Повышенные концентрации ряда элементов приурочены к участкам 4–6; 8–11; 50–54; 63–66; 73–79; 84 км от озера Атомное. Отмечается в среднем снижение изученных элементов на участке впадения р. Шаган в р. Иртыш (106 км). Высокая концентрация таких элементов, как литий и стронций, обусловлена тем, что данные элементы высокоподвижны и в соленых водах аридного климата способны к значительному концентрированию. Выявлены участки в начале русла от озера Атомное с повышенным содержанием ХЭ, что, по данным ранних исследований, свидетельствует о поступлении элементов с грунтовыми водами по тектоническим разломам. Таким образом, особенности элементного состава воды р. Шаган локально связаны с гидрогеохимическими (с механизмом подтока грунтовых вод) и климатическими факторами.

Ключевые слова: р. Шаган, озеро Атомное, химические элементы, ПДК.

The results of researches of element composition of water of the river Shagan in the territory of the former Semipalatinsk test proving ground are presented in the study. In the line with the river of Shagan is available an artificial reservoir the lake Atomnoye which is the result of industrial nuclear explosion. The main attention on the ground was paid to radio nuclide pollution as the source of danger to local population. At the moment in the floodplain of the river of Shagan is conducted unauthorized economic activity, i.e. cattle pasture. The available information was not enough, and the assessment of the quality of water requires the studying along with radio nuclide, also the element structure. The concentration of the studied elements the content of strontium in hundreds of times, and other chemical elements (CE) tenfold exceeds average values for river waters, including. The excess of maximum concentration limit is noted for lithium (5 maximum concentration limits), iron, strontium and uranium (1 maximum concentration limit). The increased concentration of the number of elements were dated for sites 4–6; 8–11; 50–54; 63–66; 73–

79; 84 km from the lake Atomnoye. The decrease in the studied elements on the site of confluence of the river Shagan in the Irtysh River (106 km) is noted on average. High concentration of these elements as lithium and strontium is caused by these elements' being highly fluent and having the ability to intense concentrating in salty waters of arid climate are capable to considerable concoction. The sites at the beginning of the course from the lake Atomnoye with the raised maintenance of CE were revealed according to early researches; testify to the receipt of elements with ground waters on tectonic breaks. Thus, features of element composition of water of the river Shagan are locally connected with hydrogeochemical (with the mechanism of subcurrent of ground waters) and climatic factors.

Keywords: the river Shagan, the lake Atomnoye, chemical elements, maximum concentration limit.

Введение. Река Шаган на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) является левобережным притоком р. Иртыш, единственным крупным и самым протяженным поверхностным водотоком. В рамках эксперимента по созданию искусственного водохранилища, в результате первого советского промышленного термоядерного взрыва 1965 г., в русле р. Шаган образовался искусственный водоем озеро Атомное. Этот экскавационный взрыв привел к существенному радиоактивному загрязнению компонентов экосистемы р. Шаган. Радиозоологические исследования выявили наличие в водах реки аномально высоких концентраций техногенного радионуклида трития [1].

В течение многих лет бывший СИП обращал на себя внимание только как источник радиационной опасности для местного населения. На данный момент в пойме р. Шаган ведется несанкционированная хозяйственная деятельность – выпас табунов овец и лошадей. В то же время необходимо учесть, что радиационный фактор является не единственным, влияющим на показатели здоровья населения. Зачастую немаловажное значение приобретает качество объектов окружающей среды (прежде всего питьевой воды), характеризующееся, в частности, такими показателями, как содержание хлоридов, сульфитов, общая минерализация, наличие токсичных элементов. Единичные работы

[2], проведенные ранее по изучению содержания микроэлементов в воде р. Шаган, выявили повышенные содержания ряда элементов.

Цель исследования. Оценка качества элементного состава воды вдоль всего русла реки Шаган.

Методы исследования. С целью оценки химического состава воды р. Шаган в 2014–2015 гг. были отобраны пробы воды вдоль всего русла от озера Атомное до впадения в р. Иртыш с шагом пробоотбора 1 км. На участке с 15 по 49 км от озера Атомное отбор проб не производился из-за отсутствия воды.

Отбор и консервирование проб воды осуществлялось согласно ГОСТ Р 51592-2000 [3]. Отбор производился во второй половине июля, так как в этот период снижалось влияние талых и

паводковых вод на концентрацию химических элементов (ХЭ). На месте отбора проб определялись кислотно-щелочные (рН) показатели и окислительно-восстановительный потенциал воды (Еh).

Определение содержания ХЭ проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7700х фирмы «Agilent Technologies» и «Elan 9000» фирмы «Perkin Elmer SCIEX» [4].

Результаты исследования и их обсуждение. В таблице представлены вариационно-статистические показатели содержания ХЭ в воде р. Шаган. В качестве сравнения даны значения предельно допустимых концентраций (ПДК) и средние значения для речных вод.

Вариационно-статистические показатели содержания химических элементов в воде р. Шаган (n=71), мкг/л

Элемент	\bar{X}	Lim (min-max)	Ср. сод. в р. в. м.	ПДК для воды [6] (класс токсичности)
Li	150±6	5,0-340	1,84	30 (2)
Be	0,05±0,006	0,006-0,2	0,0089	0,2 (1)
V	22±1	2,0-40	0,71	100 (2)
Mn	260±50	4,0-2200	34	500 (3)
Fe	1100±100	90-8100	66	1000 (3)
Co	1,0±0,1	0,2-4,0	0,148	100 (2)
Ni	16±1	3,0-70	0,8	100 (3)
Cu	24±1	3,0-50	1,48	1000 (3)
Zn	40±8	3,0-500	0,60	5000 (3)
As	14±1	2,0-25	0,62	50 (2)
Sr	8800±360	470-16700	60	7000 (2)
Mo	9,0±1	1,0-25	0,42	250(2)
Cd	0,1±0,01	0,01-0,6	0,08	1 (2)
Pb	2,0±0,1	0,1-27	0,079	30 (2)
U	21±1	1,0-50	0,372	15*
рН	8,0±0,02	7,0-9,0	-	6-9
Eh	-56,1±0,02	-(25,5-122,3)	-	-

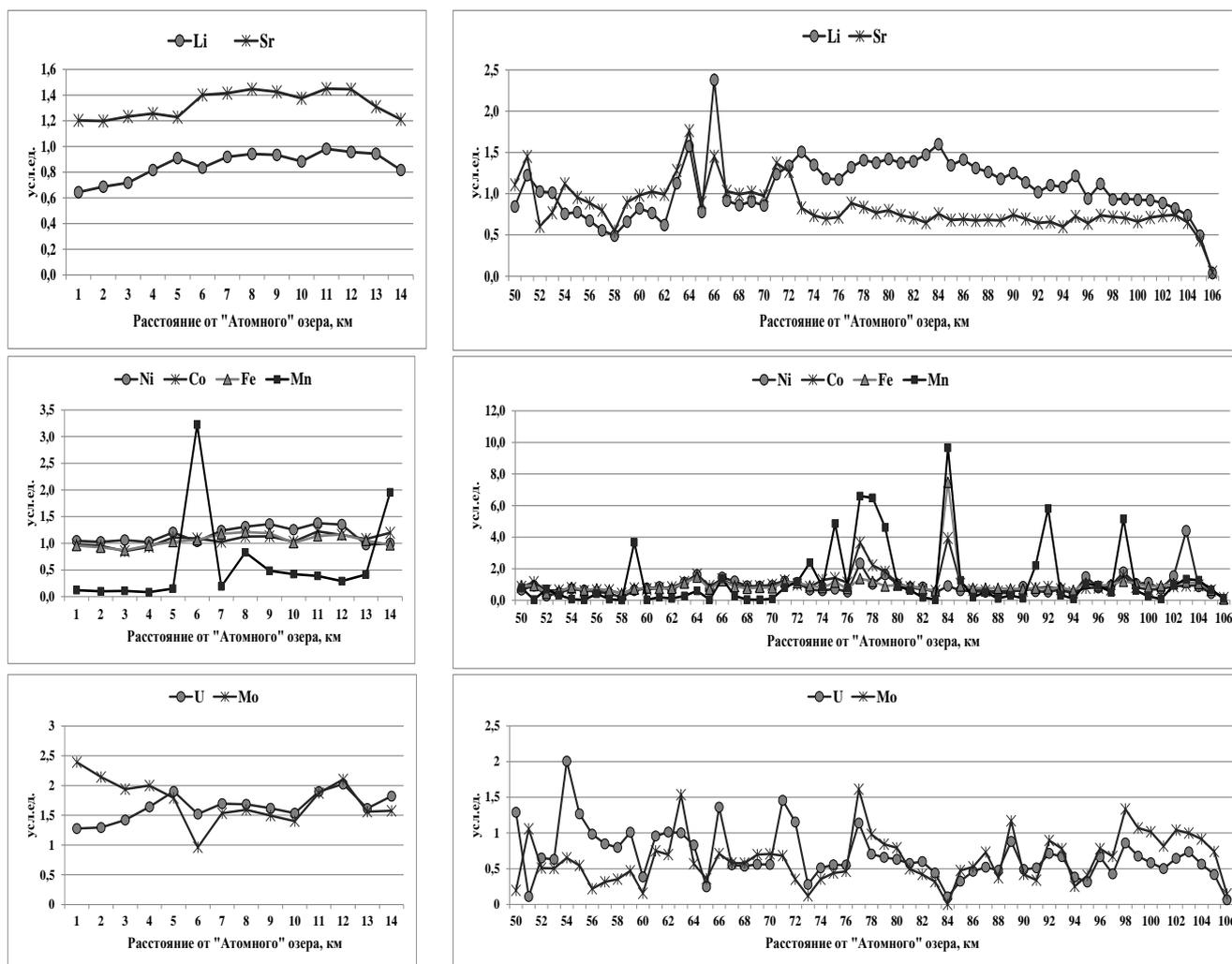
Примечание: \bar{X} – среднее арифметическое и его ошибка; Lim (min-max) – предел колебания; ср. сод. в р.в.м. – среднее содержание в речных водах мира [5]; * – норматив ВОЗ для питьевой воды [7].

Максимальные превышения ПДК отмечены для лития (5 ПДК), железа, стронция и урана (1 ПДК). Убывающий ряд относительно средних значений для речных вод выглядит следующим образом: Sr₁₄₇ > Li₈₁ > Zn₆₆ > U₅₆ > V₃₁ > Pb₂₈ >

Mo₂₁ > Ni₂₀ > Fe₁₇ > Cu₁₆ > Mn₈ > Co₇ > Be₆ > As₂ > Cd_{1,2}. Концентрации изученных элементов превышают средние значения для речных вод, в том числе содержание стронция в сотни раз, а остальные ХЭ – в десятки раз.

Вода р. Шаган по значению рН является слабощелочной. На некоторых участках р. Шаган (51, 58, 65, 83, 106 км от озера Атомное) выявлены щелочные воды (рН=8,5–9). Значения Eh в р. Шаган меньше нуля, т.е. среда восстановительная, в которой весьма высока миграционная подвижность ХЭ, так как большинство из них находится в виде свободных (незакомплексованных) ионов.

На рисунке представлено пространственное распределение в воде элементов с постоянной валентностью (Li, Sr), а также элементов с переменной валентностью вдоль русла р. Шаган. Для наглядности содержание элементов приведено в виде условной единицы, нормированной на среднее значение.



Пространственное распределение ХЭ в воде вдоль русла р. Шаган

Содержание лития до 14 км от озера Атомное было ниже зафиксированных средних значений данного элемента по руслу. Однако в интервале с 71 по 95 км содержание лития увеличилось в среднем в 1,5 раза. Максимальные повышения концентраций Li и Sr в воде были выявлены на 51, 64 и 66 км.

Выявлена общая тенденция распределения вдоль по руслу катионогенных элементов с переменной валентностью, таких как никель, ко-

бальт и железо. Всплески концентраций относительно средних содержаний по руслу для данных элементов наблюдались на 64, 77 и 84 км.

Схожее пространственное распределение было выявлено также для группы анионогенных элементов: урана и молибдена. Так, с 3 по 14 км от озера Атомное в среднем по руслу наблюдалось повышенное содержание данных элементов. Напротив, на участках 64 и 84 км уста-

новлено падение концентраций U и Mo относительно среднего содержания по руслу.

Установлены на всем протяжении русла резкие всплески и падения концентраций марганца в воде. Значительные повышения концентраций марганца (до 10 раз) над уровнем его средних значений по руслу были выявлены на участках 6 км, 14, 59, 73, 75, 77–79, 84, 91–92, 98, 103 км от озера Атомное.

Полагаем, что 10-кратное превышение в воде средних значений по марганцу носит природный характер. Растворимость соединений Mn в воде зависит от их степени окисления. Геохимию марганца в поверхностных водах определяют процессы образования труднорастворимых гидроксидных и оксидных соединений вследствие окисления ионов (Mn^{2+}), сопровождаемого образованием взвешенных форм с постепенным осаждением (Mn^{4+}) и, следовательно, уменьшением их концентрации в воде. По данным [8], указывается, что окисление марганца облегчается резким уменьшением электродного потенциала реакции при увеличении pH среды. При pH <8 даже в случае высоких концентраций Mn его осаждение из раствора происходит крайне медленно и только при участии Mn-окисляющих микроорганизмов. Это подтвердилось в ходе проведения наших исследований по р. Шаган, где в минимальных точках содержания марганца в воде были зафиксированы значения pH от 8 до 9 и минимальные значения Eh от -70 до -122.

Воды р. Шаган имеют очень высокое солесодержание, по катионно-анионному составу воды они хлоридно-сульфатные, натриево-магниевые [2]. Диапазон значений общей минерализации составляет от 10 до 30 г/л, что относит их к типу соленых (10–50 г/л). Известно, что в условиях аридного климата соленость вод обусловлена процессами испарения концентрации солей. С одной стороны, в аридных областях высокие температуры способствуют увеличению испарения, следовательно, капиллярному поднятию к поверхности более минерализованных почвенных и грунтовых вод; с другой – концентрированию солей в речной воде. Такие подвижные элементы, как бром, бор, йод, сера, молибден, литий, стронций и другие, наряду с натрием и хлором способны к значительной концентрации в соленых водах. Следовательно, выявленные в данной работе высокие концентрации лития и

стронция в воде можно объяснить высокой минерализацией вод р. Шаган.

Таким образом, по точкам отбора в целом повышенные концентрации ХЭ приурочены к участкам 4–6; 8–11; 50–54; 63–66; 73–79; 84 км от озера Атомное. Отмечается в среднем снижение изученных элементов на участке впадения р. Шаган в р. Иртыш (106 км).

Выводы. Из полученных данных следует, что в воде р. Шаган имеются зоны со значительным превышением средних содержаний в сравнении с природными водами и нормативными показателями по таким элементам, как стронций, литий, железо и уран, а в целом вода вдоль всего русла не загрязнена тяжелыми и токсичными элементами. Одна из причин высокой концентрации данных элементов связана с тем, что реки аридного климата характеризуются повышенной соленостью воды и такие элементы, как литий и стронций, способны к значительному концентрированию. Также выявлены участки (в начале русла от озера Атомное в точках 4–6; 8–11 км) с повышенным содержанием ХЭ, что, по данным предыдущих исследований [2, 9, 10], свидетельствует о поступлении элементов с грунтовыми водами по тектоническим разломам.

Таким образом, химический состав воды р. Шаган объясняется локально гидрогеохимическими факторами и климатическими условиями.

Литература

1. Обеспечение радиационной безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона: отчет / Институт ядерной физики НЯЦ РК (ИЯФ НЯЦ РК). – Курчатов, 2005. – 19 с.
2. Состояние экосистемы р. Шаган и основные механизмы его формирования / А.О. Айдарханов, С.Н. Лукашенко, С.Б. Субботин [и др.] // Актуальные вопросы радиэкологии Казахстана. – Павлодар: Дом печати, 2010. – Вып. 2 – С. 9–55.
3. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Изд-во станд., 2000. – 8 с.
4. Качество воды. Применение масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Определение 62 эле-

- ментов (№ гос. регистрации 022/10505 от 27.12.05г.): ISO 17294-2:2003 (E). – Ч. 2.
5. *Gailardet J., Viers J. and Durpe B.* Trace Elements in River Waters. In *Treatise on Geochemistry (Second Edition)* / ed. by *D. Heinrich Holland and K. Karl Turekian*, Elsevier. – Oxford, 2014. – P. 195–235.
 6. Об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к водоемким объектам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов»: Приказ министра национальной экономики Республики Казахстан от 16 марта 2015 года № 209.
 7. Guidelines on health aspects of water desalination. ETS 80.4. – Geneva, 1980.
 8. *Линник П.Н., Набиванец Б.И.* Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 270 с.
 9. Исследование путей и механизмов загрязнения техногенными радионуклидами вод реки Шаган (по результатам 2011 – 2012 гг.) / *С.Б. Субботин, В.В. Романенко, Е.А. Новикова* [и др.] // Актуальные вопросы радиозологии Казахстана: сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011–2012 гг. – Павлодар: Дом печати, 2013. – Вып. 4, Т. 2. – С. 41–65.
 10. Определение и локализация каналов поступления ^3H в воды реки Шаган / *А.Ж. Есимбеков, А.О. Айдарханов, М.Р. Актаев* [и др.] // Актуальные вопросы радиозологии Казахстана: сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011–2012 г. – Павлодар: Дом печати, 2013. – Т.2, Вып. 4. – С. 25–41.
 - Ajdarhanov, S.N. Lukashenko, S.B. Subbotin* [i dr.] // *Aktual'nye voprosy radiojologii Kazahstana.* – Pavlodar: Dom pečati, 2010. – Vyp. 2 – S. 9–55.
 3. GOST R 51592-2000. Voda. Obshhie trebovanija k otboru prob. – M.: Izd-vo stand., 2000. – 8 s.
 4. Kachestvo vody. Primenenie mass-spektrometrii s induktivno-svjazannoju plazmoju (ISP-MS). Opredelenie 62 jelementov (№ gos. registracii 022/10505 ot 27.12.05g.): ISO 17294-2:2003 (E). – Ch. 2.
 5. *Gailardet J., Viers J. and Durpe B.* Trace Elements in River Waters. In *Treatise on Geochemistry (Second Edition)* / ed. by *Heinrich D. Holland and K. Karl Turekian*, Elsevier. – Oxford, 2014. – P. 195–235.
 6. Ob utverzhenii Sanitarnyh pravil «Sanitarno-jepidemiologičeskie trebovanija k vodoistochnikam, mestam vodozabora dlja hozjajstvenno-pit'evyh celej, hozjajstvenno-pit'evomu vodosnabzheniju i mestam kul'turno-bytovogo vodopol'zovanija i bezopasnosti vodnyh ob'ektov»: Prikaz ministra nacional'noj jekonomiki Respubliki Kazahstan ot 16 marta 2015 goda № 209.
 7. Guidelines on health aspects of water desalination. ETS 80.4. – Geneva, 1980.
 8. *Linnik P.N., Nabivanec B.I.* Formy migracii metallov v presnyh poverhnostnyh vodah. – L.: Gidrometeoizdat, 1986. – 270 s.
 9. Issledovanie putej i mehanizmov zagrjaznenija tehnogennymi radionuklidami vod reki Shagan (po rezul'tatam 2011 – 2012 gg.) / *S.B. Subbotin, V.V. Romanenko, E.A. Novikova* [i dr.] // *Aktual'nye voprosy radiojologii Kazahstana:* Sb. tr. Nacional'nogo jadernogo centra Respubliki Kazahstan za 2011–2012 gg. – Pavlodar: Dom pečati, 2013. – Vyp. 4, T. 2. – S. 41–65.
 10. Opredelenie i lokalizacija kanalov postuplenija ^3N v vody reki Shagan / *A.Zh. Esimbekov, A.O. Ajdarhanov, M.R. Aktaev* [i dr.] // *Aktual'nye voprosy radiojologii Kazahstana:* sb. tr. Nacional'nogo jadernogo centra Respubliki Kazahstan za 2011–2012 g. – Pavlodar: Dom pečati, 2013. – T.2, Vyp. 4. – S. 25–41.

Literatura

1. Obespechenie radiacionnoj bezopasnosti byvshego Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona: otchet / Institut jadernoj fiziki NJaC RK (IJaF NJaC RK). – Kurchatov, 2005. – 19 s.
2. Sostojanie jekosistemy r. Shagan i osnovnye mehanizmy ego formirovanija / *A.O.*