

Радиоактивное загрязнение вод реки Шаган (по результатам 2011-го года)

Айдарханов А.О.¹, Лукашенко С.Н.¹, Айдарханова А.К.¹, Анисимов В.С.²

¹ Институт радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра Республики Казахстан, Курчатов, Казахстан;

² Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии РАСХН, Обнинск, Россия

Маловодная река Шаган с притоком р. Ащису является самым протяжённым поверхностным водотоком на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП), его главной водной артерией. Она протекает вдоль восточной границы СИП и является левобережным притоком р. Иртыш. В результате проводившихся испытаний ядерного оружия компоненты экосистемы реки подверглись, в той или иной степени, радиоактивному загрязнению. В 2005 г. обнаружен и многократно подтверждён факт наличия в водах реки аномально высоких концентраций техногенного радионуклида трития. Было установлено, что источником загрязнения являются подземные воды, поступающие в русло реки. Основной участок загрязнения находится между 4 и 5 км вниз по течению от «Атомного» озера. Присутствие трития в воде на всем протяжении р. Шаган от «Атомного» озера до впадения в р. Иртыш подтверждено результатами исследования 2011 г., удельная активность которого составила 50 Бк/кг. Максимальные значения трития в русловых водах пришлись на весенний период и составили 200 кБк/кг. Выявлено, что наличие ⁹⁰Sr в водах р. Шаган не связано напрямую с «Атомным» озером, как это предполагалось ранее.

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный полигон, площадка «Балапан», река Шаган, река Ащису, радиоактивное загрязнение, техногенные радионуклиды, удельная активность, спектрометрические измерения, тритий, «Атомное» озеро.

Введение

С 2006 г., после обнаружения на участке р. Шаган присутствия аномально высоких концентраций трития, были начаты систематические исследования, направленные на изучение характера и выявление источника радиоактивного загрязнения вод р. Шаган. В 2009 г. максимальные значения трития были зафиксированы в 4,4 км от «Атомного» озера и достигали 680000 Бк/кг, в месте слияния с р. Иртыш – не более 20 Бк/кг. Проведёнными исследованиями выявлен факт наличия значимых концентраций ⁹⁰Sr, которые достигали значений 0,7 Бк/кг. ¹³⁷Cs и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в водах р. Шаган не обнаружены [1].

Наиболее вероятными источниками радиоактивного загрязнения вод р. Шаган являются подземные воды, поступающие с площадки «Балапан», где проводились ядерные испытания в скважинах, и поверхностные воды внешнего водохранилища, образованного в результате взрыва в скважине 1004 («Атомное» озеро) [2].

Целью настоящей работы являлось изучение состояния формирования радиоактивного загрязнения вод р. Шаган в 2011 г. Для этого были проведены исследования, направленные на определение особенностей распределения трития в р. Шаган от «Атомного» озера до впадения в р. Иртыш и выявление возможных источников поступления ⁹⁰Sr в р. Шаган.

Айдарханов А.О.* – нач. отдела, к.б.н.; Лукашенко С.Н. – зам. ген. директора; Айдарханова А.К. – нач. группы. ИРБЭ НЯЦ РК. Анисимов В.С. – зав. лаб., к.б.н. ВНИИСХРАЭ РАСХН.

*Контакты: 071100, Республика Казахстан, Курчатов, ул. Красноармейская, 2. Тел.: (72251) 2-34-13; e-mail: Asan@nnc.kz.

Материалы и методы

Исследования 2011 г. включали полевые работы по отбору проб воды, лабораторные анализы определения удельной активности техногенных радионуклидов и анализ полученных результатов.

Полевые работы

Отбор проб для определения удельной активности трития. Пробы для определения содержания трития отбирались объёмом 0,2 л, согласно СТ РК ГОСТ Р 51592-2003 [3].

Отбор проб для определения удельной активности радионуклидов ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$. Пробы для определения ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ отбирали объёмом равным 10 л. Пробы для определения ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ отфильтровывали сразу после отбора и консервировали азотной кислотой (ОСЧ) из расчёта 3 мл/1 л пробы. Отобранные пробы направляли в лабораторию непосредственно либо в течение 48 часов после отбора.

Лабораторные исследования

Определение содержания трития. Определение содержания ^3H проводили методом жидкосцинтилляционной спектрометрии на β -спектрометре TRI-CARB 2900 TR согласно ISO 9698/1989 [4].

Определение содержания ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ осуществляли спектрометрическими методами после радиохимического выделения из предварительно сконцентрированных осадков солей – соосадителей с радионуклидами. Осаждение ^{90}Sr проводили с карбонатом кальция, ^{137}Cs – с гексацианоферратом меди, $^{239+240}\text{Pu}$ – с гидроксидом железа (III) [5]. Измерения удельной активности ^{137}Cs проводились на γ -спектрометре ORTEC GMX 20P4. Измерение удельной активности ^{90}Sr проводили в соответствии с методикой [4] на бета-спектрометре TRI-CARB 2900 TR. Альфа-спектрометрические измерения удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ проводили на спектрометре фирмы Canberra.

Результаты

Выявление возможных источников поступления ^{90}Sr в р. Шаган

Поступление ^{90}Sr в русловые воды р. Шаган возможно по одному из следующих путей:

- с водой из воронки «Атомного» озера;
- смыв с дневной поверхности, загрязнённой взрывом в скважине 1004;
- вымывание из донных отложений;
- подток загрязнённых подземных вод испытательной площадки «Балапан».

Предположение о поступлении ^{90}Sr с водами «Атомного» озера основано на результатах исследований радионуклидного состава вод «Атомного» озера предыдущих лет (табл. 1).

Как видно из представленных данных, в водах воронки «Атомного» озера отмечались достаточно высокие концентрации ^{90}Sr . Соответственно воды воронки являются наиболее вероятным источником стронциевого загрязнения р. Шаган.

Таблица 1

Содержание ^{90}Sr , ^3H , ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ в водах р. Шаган в 2000-2003 гг.

№ п/п	Год проведения исследований	Среднее значение удельной активности ^{90}Sr , Бк/кг	Среднее значение удельной активности ^3H , Бк/кг	Среднее значение удельной активности ^{137}Cs , Бк/кг	Среднее значение удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$, Бк/кг
1.	2000	1,6	-	2	-
2.	2001	9,4	-	0,6	4,6
3.	2003	5,7	10 000	1	0,032

Поэтому в 2011 г. работы по выявлению источника были начаты с исследования поверхностных вод в районе «Атомного» озера. С этой целью были отобраны пробы воды в 6 точках: 1 – район впадения р. Шаган во внешнее водохранилище, 2 – соединительный канал «Атомного озера» с внешним водохранилищем, 3 – воронка «Атомного озера», 4 – внешнее водохранилище, 5 – выход р. Шаган из «Атомного» озера (плотина), 6 – район впадения р. Ащису во внешнее водохранилище, для определения содержания радионуклидов ^{90}Sr . Отбор проб производился в августе месяце для снижения влияния талых и паводковых вод на концентрацию техногенных радионуклидов. В этих же пробах было проведено определение концентрации ^3H , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$. Схема отбора проб представлена на рис. 1.

Результаты исследований представлены в табл. 2.

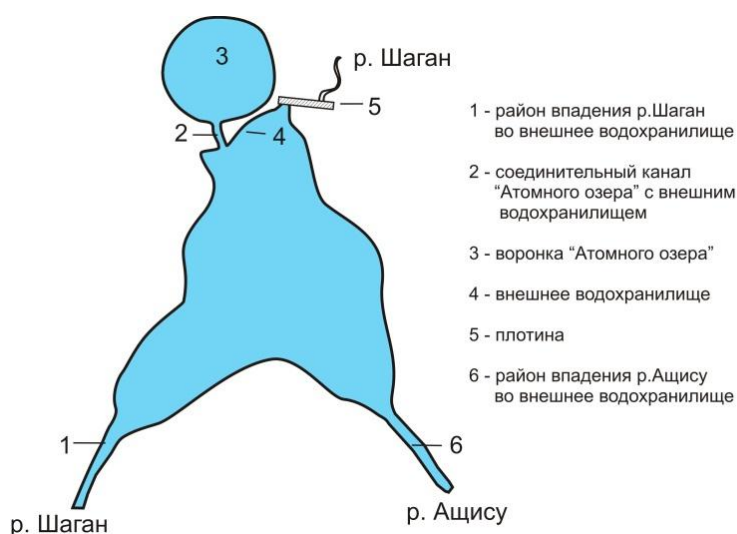


Рис. 1. Расположение точек отбора на «Атомном» озере.

Таблица 2

Содержание ^{90}Sr , ^3H , ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ в водах р. Шаган в 2011 г.

№ п/п	Место отбора	Точка отбора	^{90}Sr , Бк/кг	^3H , Бк/кг	^{137}Cs , Бк/кг	$^{239+240}\text{Pu}$, Бк/кг
1.	Район впадения р. Шаган	T-1	<0,006	20±2	< 0,03	<0,001
2.	Соединительный канал	T-2	<0,005	60±6	< 0,01	<0,001
3.	Воронка «Атомного озера»	T-3	<0,004	60±6	< 0,01	<0,001
4.	Внешнее водохранилище	T-4	<0,005	40±4	< 0,03	<0,001
5.	Плотина	T-5	<0,005	35±3	< 0,01	<0,001
6.	Район впадения р. Ащису	T-6	<0,004	20±2	< 0,02	<0,002

По результатам проведённых исследований было установлено, что удельная активность ^{90}Sr ниже минимально-детектируемой активности используемых средств измерений ($\leq 0,004$ Бк/кг). При том, что результатами 2000-2003 гг. наличие стронция в водах воронки «Атомного» озера фиксировалось в значимых количествах (до 10 Бк/кг). Значительные колебания концентраций ^{90}Sr в воде могут быть связаны с гидрологическим режимом на данном участке, т.е. изменением уровня, расхода воды, состава и концентрации растворённых веществ и т.д. Так, среднее значение минерализации проб воды в 2001 г. составляло 9400 мг/дм^3 , а по данным 2011 г. – 5100 мг/дм^3 . Содержание ^3H , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ в воде также изменяется.

В пробах, отобранных в августе месяце на мониторинговых точках, проводили определение содержания техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . Результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в водах р. Шаган в зависимости от расстояния от «Атомного» озера

№ п/п	Точка отбора	^{137}Cs , Бк/кг	^{90}Sr , Бк/кг
1.	4 км	< 0,01	$0,1 \pm 0,01$
2.	5 км	< 0,01	$0,2 \pm 0,01$
3.	6 км	< 0,03	$0,1 \pm 0,01$
4.	38 км	< 0,02	< 0,01
5.	110 км	< 0,02	< 0,01

Как видно из представленных данных, содержание техногенного радионуклида ^{137}Cs оказалось ниже минимально-детектируемой активности. При этом можно отметить наличие в воде радионуклида ^{90}Sr на расстоянии до 6 км от «Атомного» озера. Данный факт свидетельствует о том, что источник его происхождения не связан с поступлением загрязнённых поверхностных вод. В данном случае имеет место либо вымывание радионуклида из донных отложений, береговых грунтов, либо поступление загрязнённых подземных вод.

Таким образом, дать однозначный ответ о влиянии вод воронки «Атомного» озера на загрязнение реки ^{90}Sr по имеющимся данным не представляется возможным. Необходимо провести дополнительное исследование динамики изменения концентрации техногенных радионуклидов в водах «Атомного» озера в течение года.

Остались также неизученными другие предполагаемые источники загрязнения, такие как: смыв с дневной поверхности, загрязнённой взрывом в скважине 1004, вымывание из донных отложений, подток загрязнённых подземных вод испытательной площадки «Балапан».

Определение особенностей распределения трития в р. Шаган от «Атомного» озера до впадения в р. Иртыш

Исследованиями 2010 г. впервые зафиксированы количественные значения ^3H на всём протяжении реки, вплоть до впадения в р. Иртыш, где удельная активность трития составила 400 Бк/кг. Для подтверждения данного факта в 2011 г. выполнены повторные исследования характера распределения ^3H на всём протяжении русла реки р. Шаган. Характер распределения ^3H по руслу реки в 2010-2011 гг. показаны на графике (рис. 2).

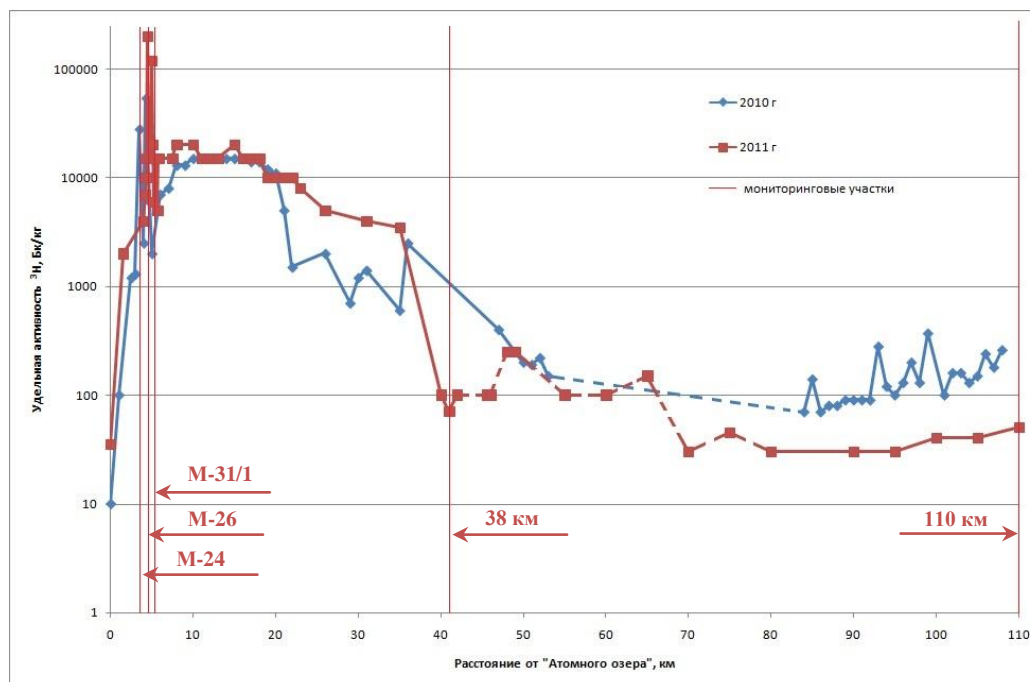


Рис. 2. Распределение удельной активности трития по руслу р. Шаган в 2010-2011 гг.

Основным результатом работ 2011 г. стало подтверждение факта поступления трития в р. Иртыш с водами р. Шаган. Отмечается увеличение удельной активности трития на участке с 4 по 10 км от «Атомного озера», по сравнению с 2010 г. Кроме того, в 2011 г. удалось произвести отбор пробы воды на участке с 53 по 84 км, который остался не изученным в 2010 г. из-за отсутствия воды (рис. 2).

Характер распределения ^3H в 2011 г. существенно не изменился по сравнению с 2010 г. Характер кривых имеет схожий вид. Так же наблюдается два пика максимальных значений, но значения удельной активности ^3H в 2011 г. на порядок превышают таковые в 2010 г. и соответственно составляют 200000 Бк/кг и 120000 Бк/кг. Наблюдается также смещение пиков, если в 2010 г. пики максимальных значений приходятся на 3,5 и 4,7 км, то в 2011 г. пики зафиксированы на участке 5 и 6 км. Результатами исследования удалось дополнить информацию о характере распределения ^3H с 53 по 84 км. При этом, отмечены два участка, на которых концентрация трития повышена. Факт поступления ^3H в р. Иртыш с водами р. Шаган полностью подтверждается.

Для изучения динамики тритиевого загрязнения поверхностных вод р. Шаган в 2011 г. были проведены мониторинговые исследования. Было организовано 5 постов мониторинга, на которых проводилось исследование радионуклидного состава русловых вод в течение весенне-летнего периода. Точка 1 – М-24 (4 км) характеризуется началом резкого повышения значений удельной активности ^3H ; точки 2 и 3 – М-26 (5 км) и М-31/1 (6 км) – точки максимальных значений удельной активности ^3H ; точка 4 (38 км) – характеризуется спадом значений удельной активности ^3H ; точка 5 (110 км) – место впадения р. Шаган в р. Иртыш. Результаты мониторинга удельной активности ^3H представлены в табл. 4.

Таблица 4

Содержание ^3H в водах р. Шаган в зависимости от расстояния от «Атомного» озера

№	Точка отбора	Удельная активность, Бк/кг				
		16.05.2011 г.	15.07.2011 г.	05.08.2011 г.	22.08.2011 г.	15.09.2011 г.
1.	4 км	10000±1000	7200±700	8000±800	10000±1000	100000±10000
2.	5 км	200000±20000	20000±2000	10000±1000	20000±2000	60000±6000
3.	6 км	120000±10000	17000±2000	15000±1000	30000±3000	15000±1000
4.	38 км	250±20	280±30	150±10	150±10	300±30
5.	110 км	50±5	30±3	45±4	< 3	45±4

Наиболее показательными являются три точки, где максимальные значения зафиксированы весной в паводковый период. Значение удельной активности ^3H в точке 4 км практически не изменяется в течение всего периода отбора проб. Удельная активность ^3H в точках 5 км и 6 км изменяется синхронно, максимальные значения зафиксированы в мае (200000 Бк/кг в точке 5 км), минимальные – в августе. Исключение составляют результаты, полученные в сентябре, где максимальное значение зафиксировано в точке 4 км и составляет 100000 Бк/кг.

Результаты мониторинга поверхностных вод показали, что значение удельной активности ^3H в точке 4 км практически не изменяется в течение всего периода отбора проб. Удельная активность ^3H в точках 5 км и 6 км изменяется синхронно, максимальные значения зафиксированы в мае (200000 Бк/кг в точке 5 км), минимальные – в августе. Исключение составляют результаты, полученные в сентябре, где максимальное значение зафиксировано в точке 4 км и составляет 100000 Бк/кг. Предположительно разгрузка загрязнённых ^3H подземных вод в русло реки происходит в нескольких участках. Отмечается зависимость величины подтока от природно-климатических условий. В целом в паводковый период отмечается спад активности ^3H .

Заключение

Максимальное значение удельной активности ^3H в 2011 г. зафиксировано в паводковый период на расстоянии 5 км от «Атомного» озера и составило 200000 Бк/кг. Отличительной особенностью тритиевого загрязнения русла р. Шаган является изменчивость места максимальной концентрации ^3H . В связи с этим необходимо провести работы по локализации участка поступления и оттока загрязнённых подземных вод в русло р. Шаган. Рекомендуется расширить существующие посты мониторинга на ключевых участках и увеличить объём работ для проведения контроля за состоянием русловых вод (помимо радионуклидного – провести микроэлементный и общий химический анализ, а также – определение дебита водотока). Необходимо вести мониторинговые наблюдения не в отдельно взятых точках, а на отрезках наблюдаемых «максимумов». Это позволит получить более полную картину сезонных вариаций распределения трития.

Подтверждено, что присутствие ^3H в водах прослеживается на всём протяжении русла вплоть до впадения в р. Иртыш, и составляет 50 Бк/кг. При этом, поступление ^3H в р. Иртыш фиксируется практически в течение всего весенне-летнего периода.

Несмотря на то, что активность ^{90}Sr в водах р. Шаган на несколько порядков ниже, чем в водах рек Российской Федерации и Республики Беларусь [6], неоднозначность результатов, полученных в исследованиях 2011 г., показывает, что для установления источника загрязнения поверхностных вод р. Шаган ^{90}Sr целесообразно проведение повторных исследований вод «Атомного» озера, грунтов по берегам р. Шаган, донных отложений и подземных вод.

Литература

1. **Айдарханов А.О., Лукашенко С.Н., Субботин С.Б., Эдомин В.И., Генова С.В., Топорова А.В., Ларионова Н.В., Пестов Е.Ю.** Состояние экосистемы р. Шаган и основные механизмы её формирования //Актуальные вопросы радиозологии Казахстана: сб. трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007-2009 гг. Вып. 2 /под рук. С.Н. Лукашенко. Павлодар: Дом печати, 2010. С. 9-54.
2. **Субботин С.Б., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Ларионова Н.В., Яковенко Ю.Ю.** Радиоактивное загрязнение техногенными радионуклидами компонентов экосистемы реки Шаган //Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2010. № 3(14). С. 106-114.
3. ГОСТ СТ РК Р 51593-2003. Вода питьевая. Отбор проб. Астана: Госстандарт, 2003. 14 с.
4. Качество воды – определение активности трития, соответствующей данной концентрации – жидкостной методом сцинтилляционного счёта. Международный стандарт ISO 9698. 2010. 24 с.
5. Методика определения содержания искусственных радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr в объектах окружающей среды (почвах, грунтах, донных отложениях и растениях): KZ.07.00.00471-2005. Алматы: Изд-во стандартов, 2010. 24 с.
6. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2011 году: Ежегодник /под ред. Вакуловского С.М. Обнинск: ФГБУ «НПО Тайфун», 2012. 298 с.

Radioactive contamination of the Shagan river: results of the study-2011

Aidarkhanov A.O.¹, Lukashenko S.N.¹, Aidarkhanova A.K.¹, Anisimov V.S.²

¹ Institute of Radiation Safety and Ecology of National Nuclear Center
of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov;

² Russian Institute of Agricultural Radiology and Agroecology, Russian Academy
of Agricultural Sciences, Obninsk

Authors present the study aimed at the research into tritium distribution in the Shagan river from the Atomic Lake down the river and, second, the identification of possible sources of the river contamination with strontium-90. From 2005 abnormally high level of tritium and significant concentration of strontium-90 in the river were documented annually. That was the reason for analysis of ^3H and ^{90}Sr concentration in the surface water of the river and identification of the main sources of contamination with ^{90}Sr . The field study was carried out in August, 2011. Concentration of radionuclides was estimated in samples taken from the surface of the river in 6 points located from its inflow to the Atomic Lake external water reservoir down the river till its inflow to Irtysh. Results of study show that concentration of ^{90}Sr was below the lower level of detection by the available instrument. It means that the Atomic Lake is not a main contributor to the contamination of the Shagan river with ^{90}Sr . Significant change of ^{90}Sr concentration may result from changes in hydrologic regime in the river stream. Analysis of ^3H concentration in the Shagan river from the Atomic Lake down the river flow to Irtysh showed its variability. The highest level of the radionuclide in the river, 200 kBq/kg, was in spring, at the same time it was 50 Bq/kg in the place of confluence of Shagan and Irtysh rivers. Comparison of previous data on tritium concentration in the river and data of the present study gives the evidence that location of high tritium contamination was variable.

Key words: *Semipalatinsk Test Site, site "Balapan", Shagan river, Ashchisu river, radioactive contamination, technogenic radionuclides, specific activity, spectrometry, tritium, Atomic Lake.*

Aidarkhanov A.O.* – Head of Dep., C. Sc., Biol.; **Lukashenko S.N.** – Deputy Director General; **Aidarkhanova A.K.** – Head of Group. IRSE NNC RK. **Anisimov V.S.** – Head of Lab., C. Sc., Biol. RIARAE.

*Contacts: 2 Krasnoarmeyskaya str., Kurchatov, Republic of Kazakhstan, 071100. Tel.: (72251) 2-34-13; e-mail: Asan@nnc.kz.

References

1. **Aydarkhanov A.O., Lukashenko S.N., Subbotin S.B., Edomin V.I., Genova S.V., Toporova A.V., Larionova N.V., Pestov E.Yu.** Sostoyanie ekosistemy r. Shagan i osnovnye mekhanizmy ee formirovaniya [Ecosystem of the Shagan river and main mechanisms of its formation]. *Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana: Sbornik trudov Instituta radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii za 2007-2009 gg.* [Topical issues in radioecology of Kazakhstan: Proceedings of the Institute of Radiation Safety and Ecology for 2007-2009]. Pavlodar, Dom Pechati Publ., 2010, vol. 2, pp. 9-54.
2. **Subbotin S.B., Lukashenko S.N., Aidarkhanov A.O., Larionova N.V., Yakovenko Y.Y.** Radioaktivnoe zagryazneniye tekhnogennymi radionuklidami komponentov ekosistemy reki Shagan [Radioactive contamination of ecosystem components of the Shagan River with artificial radionuclides]. *Problemy biogeokhimii i geokhimicheskoy ekologii – Problems of Biogeochemistry and Geochemical Ecology*, 2010, no. 3(14), pp. 106-114.
3. *GOST ST RK R 51593 – 2003. Voda pit'yevaya. Otkor prob* [State Standard R 51593 – 2003. Drinking water. Sampling]. Astana, Gosstandard Publ., 2003, p. 14. (In Russian).
4. *ISO 9698. Water quality – Determination of tritium activity concentration – Liquid scintillation counting method.* 2010. 24 p.
5. *Metodika opredeleniya sodержaniya iskusstvennykh radionuklidov Pu-239+240 i Sr-90 v obyektakh okruzhayuzhey sredy (pochvakh, gruntakh, donnykh otlozheniyakh, rasteniyakh)* [Method for determining the content of artificial radionuclides Pu-239+240 and Sr-90 in the environment (soil, earth, sediments and plants)]. Izdatelstvo standartov KZ.07.00.00471-2005. Almaty Publisher standards, 2010. 24 p.
6. *Radiacionnaya obstanovka na territorii Rossii i sopredel'nykh gosudarstv v 2011 godu: Ezhegodnik* [Radiation situation on the territory of Russia and Neighboring Countries in 2011. Yearbook]. Ed.: Vakulovsky SM. Obninsk, RPA Typhoon, 2012. 298 p.