

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-25-29>

УДК 504.4.054:539.16

## МОНИТОРИНГ ТРИТИЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД Р. ШАГАН

Актаев М.Р., Айдарханов А.О., Айдарханова А.К., Пронин С.С., Искенов А.О.

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

*E-mail для контактов: asan@nnc.kz*

В статье представлены результаты мониторинга вод р. Шаган по изменению удельной активности трития за 2016–2020 гг. Река Шаган представляет собой самый протяженный поверхностный водоток на территории Семипалатинского испытательного полигона (далее СИП), протекающий вдоль восточной части площадки «Балапан», где вместе с притоком – р. Ащису, впадает в «Атомное озеро». Далее, на расстоянии 110 км вниз по течению, р. Шаган впадает в р. Иртыш. Ранее проведенными исследованиями выявлен и многократно подтвержден факт радиоактивного загрязнения поверхностных и подземных вод СИП техногенным радионуклидом  $^3\text{H}$  [1, 2]. Выявлено, что основным источником загрязнения являются подземные воды [3], поступающие в поверхностные воды реки. В связи с этим, проводился сезонный мониторинг  $^3\text{H}$  загрязнения вод на трех участках реки, начиная от выхода из навала «Атомного озера» и далее вниз по течению до впадения в р. Иртыш.

В результате проведенных наблюдений установлено, что удельная активность  $^3\text{H}$  в поверхностных и подземных водах в зависимости от времени наблюдения изменяется в широком диапазоне значений. Так, на участке максимального загрязнения, содержание  $^3\text{H}$  изменяется от минимальных – 8 Бк/кг в весенний период, до максимальных 370 000 Бк/кг в летне-осенний период. В местах выхода р. Шаган за границу полигона, концентрация  $^3\text{H}$  изменяется от 90 Бк/кг до 12 400 Бк/кг. В районе впадения р. Шаган в р. Иртыш содержание  $^3\text{H}$  не превышает 110 Бк/кг.

**Ключевые слова:** Семипалатинский испытательный полигон, р. Шаган, р. Иртыш, радионуклид тритий, мониторинг, поверхностные воды, удельная активность, уровень вмешательства.

### ВВЕДЕНИЕ

Многолетние исследования показали, что основное радиоактивное загрязнение вод р. Шаган на всем протяжении, начиная от выхода реки из «Атомного озера» и до впадения в р. Иртыш, обусловлено повышенными значениями удельной активности трития [4]. Установлено, что воды р. Шаган характеризуются довольно сложной системой тритиевого загрязнения. Имеется несколько источников загрязнения тритием, которые отличаются механизмами поступления в воды р. Шаган. Источником поступления  $^3\text{H}$  в районе выхода р. Шаган из «Атомного озера» является выщелачивание  $^3\text{H}$  из загрязненных навалов грунта. Увеличение  $^3\text{H}$  на интервале с 2 по 3 км обусловлено выходом подрусовых вод, вытекающих из старого русла реки [5]. На отрезке реки с 5 по 6 км вниз по течению, источником  $^3\text{H}$  загрязнения является разгрузка загрязненных трещинных вод, выходящих по каналам тектонических нарушений со стороны «боевых» скважин площадки «Балапан». На интервале с 8 по 14 км отмечается поступление загрязненных грунтовых вод. Начиная с 14–15 км наблюдается постепенное снижение  $^3\text{H}$  в результате разбавления [6].

В целом, местом максимального загрязнения является отрезок реки длиной около 150 м, который находится на расстоянии 5 км вниз по течению от «Атомного озера». Содержание  $^3\text{H}$  на данном участке достигало 450 000 Бк/кг [7]. Начиная с 14 км вниз по течению, в месте выхода реки за границы территории полигона, отмечалось постепенное снижение концентрации трития до 15 000 Бк/кг. Более низкие концентрации трития фиксировались начиная с 50 км до

впадения р. Шаган в р. Иртыш, на уровне 100–200 Бк/кг [8].

В настоящее время, в зоне влияния р. Шаган осуществляется активная сельскохозяйственная деятельность: разведение и выпас скота, заготовка сена, сельскохозяйственные работы, развита промысловая деятельность (отлов рыбы, добыча водоплавающих птиц и др.), а вода из р. Шаган может использоваться местным населением в различных целях. Сложившаяся ситуация обусловила необходимость проведения радиационного мониторинга с целью получения актуальных данных о радиологическом состоянии вод р. Шаган. Для этого, с 2016 г. проводится систематический мониторинг изменения содержания трития в поверхностных и подземных водах.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### *Участки мониторинговых наблюдений и отбор проб*

Для проведения мониторинговых наблюдений было определено три участка: «5 км», «14 км» и «110 км». Выбор участков обосновывался следующим образом:

1) Первый участок, условно обозначенный как «5 км», расположен на расстоянии 5 км от «Атомного озера». На данном участке мониторинг проводился с целью контроля максимального уровня трития, поступающего с подземными водами в поверхностные воды р. Шаган.

2) Второй участок, обозначенный как «14 км» выбран для контроля уровня трития, выходящего за пределы границы полигона с водами р. Шаган.

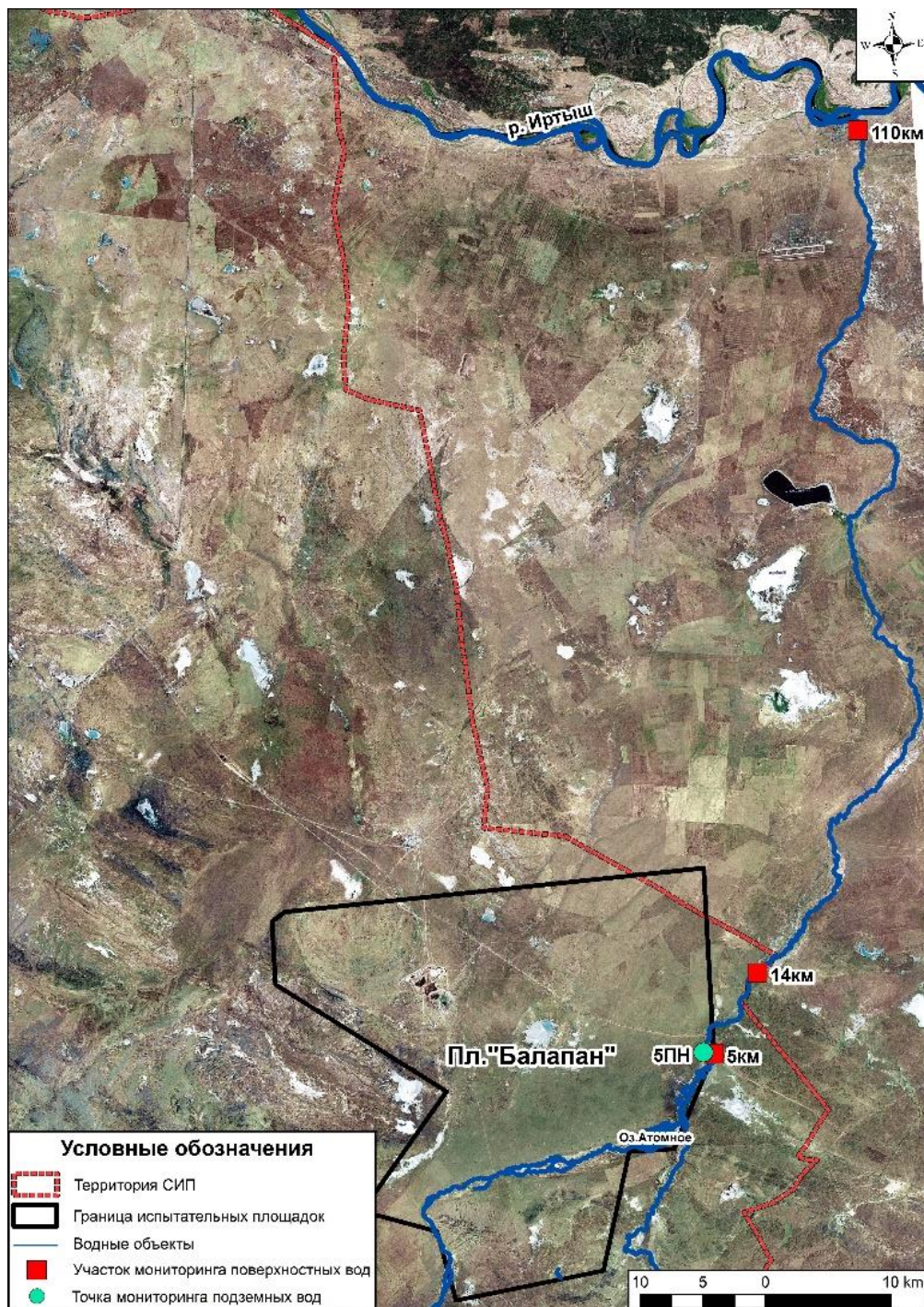


Рисунок 1. Расположение участков мониторинга вод р. Шаган

3) Третий участок «110 км» был выбран для контроля уровня трития, поступающего с водами р. Шаган в воды р. Иртыш.

Схематическое расположение участков мониторинга представлено на рисунке 1.

Мониторинг заключался в отборе поверхностных вод в весенние, летние и осенние периоды на участках «5 км», «14 км» и «110 км». Дополнительно, из скважины 5-ПН, расположенной на левом берегу р. Шаган, проводился отбор проб подземных вод

один раз в год. По концентрации  $^3\text{H}$  в пробе подземных вод из данной скважины оценен уровень загрязнения подземных вод, поступающих в поверхностные воды р. Шаган на участке максимального загрязнения – «5 км».

Определение содержания трития в отобранных пробах воды проводилось в лабораторных условиях методом жидкосцинтилляционной спектрометрии на  $\beta$ -спектрометре TRI-CARB 2900 TR [9].

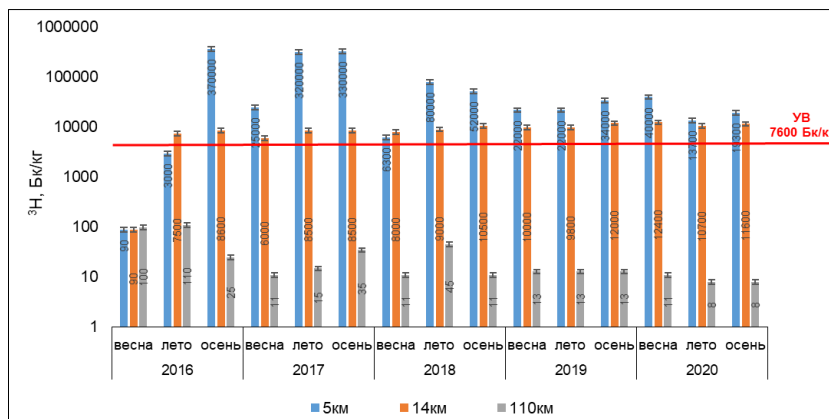


Рисунок 2. Изменение удельной активности  $^3\text{H}$  в поверхностных водах

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

**Изменение содержания трития в поверхностных водах**

По результатам мониторинга в период с 2016 г. по 2020 г. удельная активность трития в поверхностных водах изменялась в широком диапазоне значений от 8 до 370 000 Бк/кг (рисунок 2).

На всех участках мониторинга отмечается изменение концентрации  $^3\text{H}$  в зависимости от сезона и года наблюдения. Максимальные значения  $^3\text{H}$ , как и ожидалось, фиксировались на «5 км». В течение года повышенные значения трития в большинстве случаев регистрировались в летнее и осеннее время. При сравнении по годам, наиболее высокие значения содержания трития наблюдались в 2016–2017 гг.

Превышение допустимого уровня вмешательства по  $^3\text{H}$ , который составляет 7 600 Бк/кг, фиксировалось на участках «5 км» и «14 км». В районе впадения р. Шаган в р. Иртыш («110 км») содержание  $^3\text{H}$  изменялось от 8 до 110 Бк/кг. Максимальные значения наблюдались в 2016 г., минимальные в 2020 г.

Сравнительно низкие значения  $^3\text{H}$  в 2016 году могут быть связаны с погрешностью отбора проб воды из поверхности реки. Так, в работе [10] представлено, что на участке «5 км» изменение концентрации  $^3\text{H}$  в воде отмечается глубинным и площадным перераспределением. Глубинное изменение отмечается вне зависимости от глубины водотока. В ряде случаев, концентрация  $^3\text{H}$  в воде вблизи левого и правого берега, а также в придонном слое воды и на поверхности различалась более, чем в 11 раз. В этой связи, существует вероятность отбора воды из точки отсутствия поступления загрязненных вод.

**Изменение содержания трития в подземных водах**

Согласно полученным данным, удельная активность  $^3\text{H}$  в подземной воде за прошедшие пять лет изменялась от 110 000 Бк/кг до 350 000 Бк/кг. Результаты представлены на рисунке 3.

Наиболее высокие значения наблюдались в 2016–2018 гг. В 2019 и 2020 гг., отмечалось уменьшение удельной активности  $^3\text{H}$ . Изменение концентрации

$^3\text{H}$  в пробах подземных вод может быть вызвано сменой водного режима и уровня залегания подземных вод, которые приводят к различным условиям разбавления загрязненных подземных вод.



Рисунок 3. Изменение удельной активности  $^3\text{H}$  в подземной воде

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На всех участках мониторинга в воде обнаружен  $^3\text{H}$ , удельная активность которого изменяется в зависимости от времени года и от года к году. Максимальные концентрации  $^3\text{H}$  в течение года наблюдаются в летне-осенний периоды на участках «5 км» и «14 км». Повышенные значения трития наблюдались в 2016–2017 гг. как для поверхностных, так и для подземных вод, минимальные в 2020 г.

В районе впадения р. Шаган в р. Иртыш, концентрация  $^3\text{H}$  не превышала 110 Бк/кг, что в 70 раз ниже допустимого уровня вмешательства по содержанию в питьевой воде (7 600 Бк/кг) согласно гигиеническим нормативам «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [11].

Наблюдаемые уровни  $^3\text{H}$  и его сезонные изменения находятся в пределах ранее зафиксированных значений. Каких-либо существенных колебаний в сторону резкого роста не обнаружено. Сравнительно небольшой спад уровня трития в 2020 г. может быть обусловлен изменением уровня воды в период отбора проб.

В целом, мониторинг радиационного состояния водных объектов в настоящее время остается актуальной задачей радиоэкологии СИП. Для набора статических данных рекомендуется увеличить периодичность отбора проб подземных вод до 3 раз в год, параллельно с отбором поверхностных вод. Для оценки степени влияния уровня подземных и поверхностных вод, необходимо добавить гидрологические параметры контроля, а именно в процессе отбора проб производить измерение уровня воды в скважине и расход воды в реке. Также, в задачу мониторинга следует включить определение отношения стабильных изотопов  $^2\text{H}$  и  $^{18}\text{O}$  в отбираемых пробах воды. Изотопный анализ, наряду с измерением уровня вод, позволит определить количественные значения в процессе водообмена между подземными и поверхностными водами, а также выделить факторы, влияющие на изменение содержания  $^3\text{H}$  для каждого участка мониторинга.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Актаев, М.Р. Мониторинг радиоактивного загрязнения вод р. Шаган / М. Р. Актаев, А.О. Айдарханов, С.Н. Лукашенко, // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития: тез. док. V Междунар. науч.-практическая конф., 12–14 сентября. – Павлодар: Дом печати, 2012. – С. 63–64. – ISBN 978-601-7112-63-9.
2. Актаев, М.Р. Характер радиоактивного загрязнения техногенными радионуклидами р. Шаган и «Атомного» озера / М. Р. Актаев, А.О. Айдарханов, С.Н. Лукашенко, // Ядерная и радиационная физика: тез. докл. X Междунар. науч.-практ. конф., 08–11 сентября 2015. С. 124. – ISBN 9965-675-91-0.
3. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011 г.] / под рук. С.Н. Лукашенко. – Павлодар: Дом печати, 2011. Вып. 3. – Т. 1. – 165 с.
4. Aidarkhanov, A.O. Mechanisms for surface contamination of soils and bottom sediments in the Shagan river zone within former semipalatinsk nuclear test site / A. O. Aidarkhanov, S. N. Lukashenko, O. N. Lyakhova, S. B. Subbotin, Yu. Yu. Yakovenko, S. V. Genova, A. K. Aidarkhanova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – Vol. 124. – P. 163–170.
5. Актаев М.Р. Характер загрязнения тритием вод р. Шаган в районе «Атомного озера» / Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстан [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2014–2016]. – Павлодар: Дом печати, 2017. – Вып. 6. – Т. 1. – С. 202–207. – ISBN 978-601-7844-53-0.
6. Есимбеков А.Ж. Особенности тритиевого загрязнения подземных вод в зоне влияния р. Шаган / А.Ж. Есимбеков, С.Н. Лукашенко, А.О. Айдарханов, М.Р. Актаев // Ядерная и радиационная физика: тез. докл. X Междунар. науч.-практ. конф., 08–11 сентября 2015. С. 128. – ISBN 9965-675-91-0..
7. Есимбеков А.Ж. Исследование механизмов формирования и путей загрязнения тритием поверхностных вод р. Шаган / А.Ж. Есимбеков, С.Н. Лукашенко, А.О.

Айдарханов, М.Р. Актаев // [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 6. – Павлодар: Дом печати, 2017.

8. Айдарханов, А.О. Определение и локализация каналов поступления  $^3\text{H}$  в воды р. Шаган / А.О. Айдарханов, М.Р. Актаев, А.Ж. Есимбеков, В.С. Анисимов // Радиация и риск. – 2013. – Том 22. – № 4. – ISSN 0131-3878.
9. ISO 9698:2019 (E) «Качество воды – Тритий – Метод определения при помощи жидкостно-сцинтилляционного счета». – Введ. 05-2019. – Швейцария: Межд. стандарт, 2019. – 25 с.
10. Aktayev M.R. Features tritium distribution in the waters at the Semipalatinsk test site / Aktayev M.R., A.O. Aidarkhanov, S.N. Lukashenko // IV International Conference on Environmental Radioactivity: Radionuclides as Tracers of Environmental Processes. Vilnius, Lithuania. 29 May – 2 June 2017. PS3-1.
11. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности»: утв. приказом Министра нац. экономики РК 27.02.2015. – № 155. – 112 с.

#### REFERENCES

1. Aktaev, M.R. Monitoring radioaktivnogo zagryazneniya vod r. Shagan / M. R. Aktaev, A.O. Aydarkhanov, S.N. Lukashenko, // Semipalatinskiy ispytatel'nyy poligon. Radiatsionnoe nasledie i perspektivy razvitiya: tez. dok. V Mezhdunar. nauch.-prakticheskaya konf., 12–14 sentyabrya. – Pavlodar: Dom pechati, 2012. – P. 63–64. – ISBN 978-601-7112-63-9.
2. Aktaev, M.R. Kharakter radioaktivnogo zagryazneniya tekhnogennymi radionuklidami r. Shagan i «Atomnogo» ozera / M. R. Aktaev, A.O. Aydarkhanov, S.N. Lukashenko, // Yadernaya i radiatsionnaya fizika: tez. dokl. X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 08–11 sentyabrya 2015. PS. 124. – ISBN 9965-675-91-0.
3. Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana [Sbornik trudov Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan za 2011 g.] / pod ruk. S.N. Lukashenko. – Pavlodar: Dom pechati, 2011. Issue 3. – T. 1. – 165 p.
4. Aidarkhanov, A.O. Mechanisms for surface contamination of soils and bottom sediments in the Shagan river zone within former semipalatinsk nuclear test site / A. O. Aidarkhanov, S. N. Lukashenko, O. N. Lyakhova, S. B. Subbotin, Yu. Yu. Yakovenko, S. V. Genova, A. K. Aidarkhanova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – Vol. 124. – P. 163–170.
5. Aktaev M.R. Kharakter zagryazneniya tritiem vod r. Shagan v rayone «Atomnogo ozera» / Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstan [Sbornik trudov Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan za 2014–2016]. – Pavlodar: Dom pechati, 2017. – Issue 6. – T. 1. – P. 202–207. – ISBN 978-601-7844-53-0.
6. Esimbekov A.Zh. Osobennosti tritievogo zagryazneniya podzemnykh vod v zone vliyaniya r. Shagan / A.Zh. Esimbekov, S.N. Lukashenko, A.O. Aydarkhanov, M.R. Aktaev // Yadernaya i radiatsionnaya fizika: tez. dokl. X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 08–11 sentyabrya 2015. P. 128. – ISBN 9965-675-91-0..
7. Esimbekov A.Zh. Issledovanie mekhanizmov formirovaniya i putey zagryazneniya tritiem poverkhnostnykh vod r. Shagan / A.Zh. Esimbekov, S.N. Lukashenko, A.O. Aydarkhanov, M.R. Aktaev // [Sbornik trudov Instituta

- radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii] / pod ruk. Luka-shenko S.N. – Issue 6. – Pavlodar: Dom pechati, 2017.
8. Aydarkhanov, A.O. Opredelenie i lokalizatsiya kanalov postupleniya  $^3\text{H}$  v vodu r. Shagan /A.O. Aydarkhanov, M.R. Aktaev, A.Zh. Esimbekov, V.S. Anisimov // Radiatsiya i risk. – 2013. – Т. 22. – No. 4. – ISSN 0131-3878.
  9. ISO 9698:2019 (E) «Kachestvo vody – Tritiy – Metod opredeleniya pri pomoshchi zhidkostno-stsintillyatsionnogo scheta». – Vved. 05-2019. – Shveysariya: Mezhd. standart, 2019. – 25 p.
  10. Aktayev M.R. Features tritium distribution in the waters at the Semipalatinsk test site / Aktayev M.R., A.O. Aidarkhanov, S.N. Lukashenko // IV International Conference on Environmental Radioactivity: Radionuclides as Tracers of Environmental Processes. Vilnius, Lithuania. 29 May – 2 June 2017. PS3-1.
  11. Gigienicheskie normativy «Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k obespecheniyu radiatsionnoy bezopasnosti»: utv. prikazom Ministra nats. ekonomiki RK 27.02.2015. – No. 155. – 112 p.

## ШАҒАН ӨЗЕНІНІҢ СУЫНЫҢ ТРИТИЙЛІК ЛАСТАНУЫН МОНИТОРИГЛЕУ

М.Р. Ақтаев, А.О. Айдарханов, А.Қ. Айдарханова Қ, С.С. Пронин, А.О. Искенов

*ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатова, Қазақстан*

Мақалада өзен суларын бақылау нәтижелері көрсетілген. 2016–2020 жылдарға арналған тритийдің нақты белсенділігінің өзгеруі туралы Шаған. Шаған өзені - Балапан полигонының шығыс бөлігімен ағып жатқан Семей полигонының (бұдан әрі – СИП) аумағындағы ең ұзын жер үсті суы. Ашису, «Атом көліне» құяды. Әрі қарай, ағысқа қарсы 110 км қашықтықта өзен өзеннің сол жағалауындағы ағынды құрайды. Ертіс. Алдыңғы зерттеулер өзеннің жер үсті және жер асты суларының радиоактивті ластану фактісін анықтады және бірнеше рет растады. Шаған техногендік радионуклид  $^3\text{H}$ . Ластанудың негізгі көзі өзеннің жер үсті суларына түсетін жерасты сулары екендігі анықталды. Осыған байланысты өзен суларының  $^3\text{H}$  ластануының ұзақ мерзімді мониторингін қамтамасыз ету мақсатында Атомное көлінің үйіндісінен бастап және одан әрі қарай ағын сағасына дейін өзеннің арнасы бойында орналасқан үш учаскесінде маусымдық бақылау жүргізілді. өзенмен. Ертіс.

Бақылаулардың нәтижесінде жер бетіндегі және жер асты суларындағы  $^3\text{H}$ -дің меншікті белсенділігі бақылау уақытына байланысты әр түрлі мәндерде өзгертіндігі анықталды. Сонымен, максималды ластану аймағында  $^3\text{H}$  мөлшері көктемде минимумнан 8 Бк/кг-ге дейін, жазғы-күзгі кезеңде ең көп дегенде 370 000 Бк/кг-ге дейін өзгереді. Өзеннің шығу нүктелерінде полигоннан тыс Шаған,  $^3\text{H}$  концентрациясы 90 Бк/кг-ден 12 400 Бк/кг-ге дейін өзгереді. Өзеннің қосылатын ауданында. Шаған р. Ертіс құрамындағы  $^3\text{H}$  110 Бк/кг аспайды.

**Түйін сөздер:** Семей полигоны, р. Шаған, р. Ертіс, тритий радионуклид, бақылау, жер үсті сулары, белсенділігі, интерференция деңгейі.

## MONITORING OF TRITIUM POLLUTION OF THE SHAGAN RIVER WATERS

M.R. Aktayev, A.O. Aidarkhanov, A.K. Aidarkhanova, S.S. Pronin, A.O. Iskenov

*Branch “Institute of Radiation Safety and Ecology” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

The article presents the results of monitoring the waters of the Shagan river on the change in the specific activity of tritium for 2016–2020. The Shagan river is the longest surface watercourse on the territory of the Semipalatinsk Test Site, flowing along the eastern part of the Balapan site, where, together with the tributary, the Ashisu, flows into the “Atomic Lake”. Further, at a distance of 110 km downstream, the river forms a left-bank tributary of the Irtysh river. Previous studies have revealed and repeatedly confirmed the fact of radioactive contamination of the surface and ground waters of the Shagan river technogenic radionuclide  $^3\text{H}$ . It was revealed that the main source of pollution is groundwater entering the surface waters of the river. In this regard, in order to ensure long-term monitoring of  $^3\text{H}$  pollution of river waters, seasonal monitoring was carried out in three sections of the river located along its channel, starting from the outlet from the “Atomic Lake” heap and further downstream to the confluence with the Irtysh river.

As a result of the observations, it was found that the specific activity of  $^3\text{H}$  in surface and ground waters, depending on the observation time, varies in a wide range of values. So, in the area of maximum pollution, the content of  $^3\text{H}$  changes from the minimum – 8 Bq/kg in the spring, to the maximum 370 000 Bq/kg in the summer-autumn period. At the exit points of the Shagan river outside the landfill, the concentration of  $^3\text{H}$  varies from 90 Bq/kg to 12 400 Bq/kg. In the area of the confluence of the Shagan river in Irtysh river content of  $^3\text{H}$  does not exceed 110 Bq/kg.

**Keywords:** Semipalatinsk test site, Shagan river, Irtysh river, tritium radionuclide, monitoring, surface waters, specific activity, level of interference.