

УДК 551.49:504.4.054:539.16

ОПТИМИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ВОД НА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ УЧАСТКАХ СИП ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА ИЗОТОПНОЙ ГИДРОЛОГИИ

Токтаганов Т.Ш., Айдарханов А.О., Актаев М.Р., Кокежанов Б.А., Пронин С.С., Искенов А.О.

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

В статье представлены результаты по определению особенностей формирования подземных вод в местах радионуклидного загрязнения на территории Семипалатинского испытательного полигона. Установлено, что основным источником питания подземных вод являются зимние атмосферные осадки. Выявлено, что разгрузка подземных вод в поверхностные происходит в августе. Эти данные подтверждаются результатами значений стабильных изотопов и сезонными изменениями уровня подземных вод в русле р. Шаган. В этот период в местах разгрузки подземных вод наблюдается максимальная концентрация техногенных радионуклидов в поверхностных водах р. Шаган и оз. Кишкенсор. Одной из основных причин этому может быть повышение уровня подземных вод вследствие чего происходит вымывание радионуклидов с полостей «боевых» скважин.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) существует ряд водных объектов (оз. Кишкенсор, р. Шаган), характерной особенностью которых является неравномерное распределение радионуклидов в воде в зависимости от сезона. Так, по данным регулярных мониторинговых наблюдений установлено, что удельная активность ^3H в оз. Кишкенсор в разное время года изменялась от 5 000 до 350 000 Бк/кг. В русле р. Шаган отмечено крайне неравномерное распределение удельной активности ^3H как по поверхности, так и глубине водотока – от 2 000 до 350 000 Бк/кг [1]. Такие колебания могут быть напрямую связаны с сезонными изменениями дебита водотоков и особенностями формирования подземных вод, в связи с чем необходимо обратить отдельное внимание на факторы, влияющие на изменение гидрологического режима водных объектов. Для решения вышеупомянутых задач использовался метод изотопной гидрологии.

Существующая система водного мониторинга территории СИП направлена на проведение оценки текущего состояния водной среды, а также на получение данных об изменении радиэкологической ситуации за прошедший отрезок времени. В связи с этим, одним из перспективных направлений развития мониторинга подземных и поверхностных вод, на сегодняшний день, является оптимизация режимов наблюдения с целью получения минимально необходимого, но достаточного количества качественных данных о формировании радионуклидного загрязнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Теория метода

В настоящее время, одним из прямых методов получения информации о происхождении различных видов вод (подземных и поверхностных), является использование метода изотопной гидрологии. В основу метода заложено определение соотношения стабильных изотопов кислорода (^2H) и водорода (^{18}O) в воде. Многочисленными работами во многих регио-

нах мира показано, что данный метод хорошо зарекомендовал себя для изучения особенностей формирования подземных вод, а также изменения гидрологического режима водных объектов [1–3].

Главным требованием для использования метода изотопной гидрогеологии является получение исходных данных о распределении стабильных изотопов в атмосферных осадках. Для проведения анализов различных видов вод, все результаты измерений наносят на диаграмму отношения $\delta^{18}\text{O} \div \delta^2\text{H}$. Данная диаграмма отражает закономерное распределение изотопов дейтерия и кислорода в атмосферных осадках – как источников формирования всех типов вод. На данной диаграмме имеет место закономерное распределение изотопного состава атмосферных осадков, которое называется глобальной линией метеорных вод (ГЛМВ) и имеет уравнение, соответствующее $\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$ (Craig 1961; Dansgaard 1964) [4].

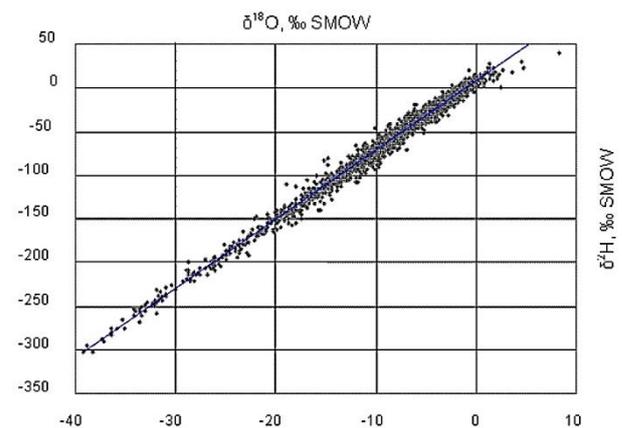


Рисунок 1. Глобальная линия метеорных вод (—).

Для построения ГЛМВ использованы данные МАГАТЭ по результатам мониторинга, которые включают в себя около 3 500 среднемесячных анализов (●) за период 70–90-х гг. прошлого века.

Значения изотопного состава локальных атмосферных выпадений отличаются от глобальных за счет влияния региональных и местных факторов (климатических, гидрологических, криогенных и др.). Все это приводит к изменению соотношения изотопов в осадках определенных территорий, начиная с образования атмосферной влаги и до ее выпадения [5, 6]. Таким образом, для достоверного определения видов вод и условий их формирования на конкретных территориях, необходимо построение локальной линии метеорных вод (ЛЛМВ), полученных из местных атмосферных выпадений [7].

2. Отбор проб

Ранее проведенными исследованиями установлено, что территории СИП и г. Курчатова характеризуются схожими природно-климатическими условиями [8]. Это говорит о том, что условия формирования атмосферных осадков и, как следствие, их изотопный состав на данных территориях имеет идентичный характер.

Отбор проб жидких и твердых осадков проводился на территории г. Курчатова при помощи специального пробоотборника атмосферных выпадений Третьякова О-1, состоящего из приемной воронки, канала для стекания дождевой воды и накопительной части.

В русле р. Шаган отбор проб поверхностных и подземных вод проводился на участке, расположенном на расстоянии 5 км вниз по течению от «Атомного озера». Поверхностные воды отбирались непосредственно из водотока. Подземные воды отбирались из наблюдательной скважины при помощи специального глубинного пробоотборника, который представляет собой цилиндрическую трубу с заглушенной одной стороной и прикрепленным тросом [9].

На оз. Кишкенсор отбор проб поверхностных и подземных вод проводился на участке с максимальным радионуклидным загрязнением объектов окружающей среды, расположенном в южной части озера. Поверхностные воды отбирались из водоема, подземные воды отбирались в процессе бурения исследовательских скважин.

3. Лабораторные работы

Лабораторные работы включали в себя подготовку и измерение образцов воды на соотношение стабильных изотопов и определение содержания техногенного радионуклида ^3H .

Измерение отношений стабильных изотопов $^2\text{H}/^1\text{H}$ и $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в анализируемом образце и стандарте проводилось на высокочувствительном лазерном спектрометре LGR 912-0008. В качестве внутренних стандартов использовались пробы воды, откалиброванные относительно международного стандарта VSMOW (МАГАТЭ). Точность определения ^2H и ^{18}O составила $\pm 0,5\%$ и $0,1\%$, соответственно.

Определение содержания ^3H проводилось методом жидкостинтилляционной спектрометрии на спектрометре TRI-CARB 2900 TR. Измерения проводились в соответствии со стандартной методикой, погрешность измерений составила не более 10 % [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1 Определение исходных значений стабильных изотопов $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ в атмосферных осадках

В результате проведения лабораторных анализов отобранных проб, получены исходные значения стабильных изотопов в атмосферных осадках. На основе полученных данных построена ЛЛМВ с результатами среднемесячных значений $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ (рисунок 2).

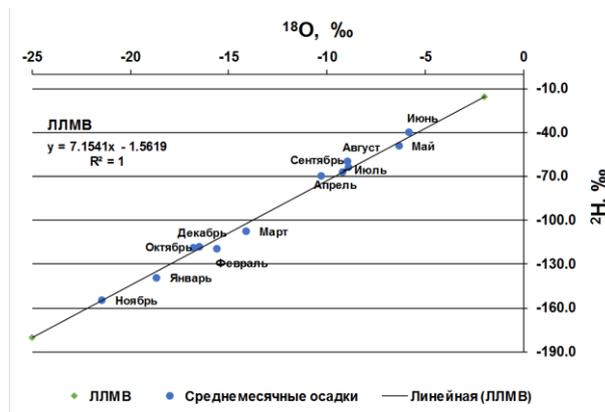


Рисунок 2. Локальная линия метеорных вод

Согласно полученным данным, стабильные изотопы в атмосферных осадках изменяются в широком диапазоне: по ^{18}O от -2% до -25% , а по ^2H от $-15,9\%$ до $-180,4\%$. Наиболее «тяжёлые» значения стабильных изотопов регистрируются с апреля по сентябрь. Облегченный изотопный состав осадков характерен периоду с октября по март. Данные колебания обусловлены сезонными изменениями температуры воздуха [11].

Дальнейшие результаты анализа стабильных изотопов вод исследуемых участков сравнивались со значениями атмосферных осадков по ЛЛМВ.

2 Определение механизмов формирования поверхностных и подземных вод на радиационно-загрязненных участках СИП

С целью выявления особенностей формирования загрязненных вод оз. Кишкенсор и р. Шаган проводилось определение удельной активности техногенного радионуклида ^3H и соотношения стабильных изотопов ($^2\text{H}/^{18}\text{O}$) в отобранных пробах водах.

Участок оз. Кишкенсор

Результаты лабораторных анализов представлены в таблице 1.

Согласно представленным данным, содержание ^3H изменяется от 5000 Бк/кг до 200000 Бк/кг, с максимальной концентрацией в августе.

Таблица 1. Результаты измерений ^3H и $^2\text{H}/^{18}\text{O}$

№	Участок исследований	Дата отбора	Удельная активность ^3H , Бк/кг	^2H , ‰	^{18}O , ‰
1	оз. Кишкенсор	21.06.2017	30 000 ± 3 000	-111,4	-17,6
2	оз. Кишкенсор	11.07.2017	5 000 ± 500	-68,8	-6,0
3	оз. Кишкенсор	28.08.2017	200 000 ± 20 000	-90,7	-11,5

Аналогичные изменения наблюдаются в содержании стабильных изотопов. В период с июня по июль отмечается заметное утяжеление значения изотопов от -111,4 до -68,8‰ по ^2H и от -17,6 до -6,0 ‰ по ^{18}O . Затем, в августе, фиксируется облегчение значения изотопов до -90,7 ‰ по ^2H и -11,5 ‰ по ^{18}O .

Для установления причин вариации, проведен сравнительный анализ значений стабильных изотопов вод оз. Кишкенсор с исходными значениями изотопов в атмосферных выпадениях. Результаты представлены на рисунке 3.

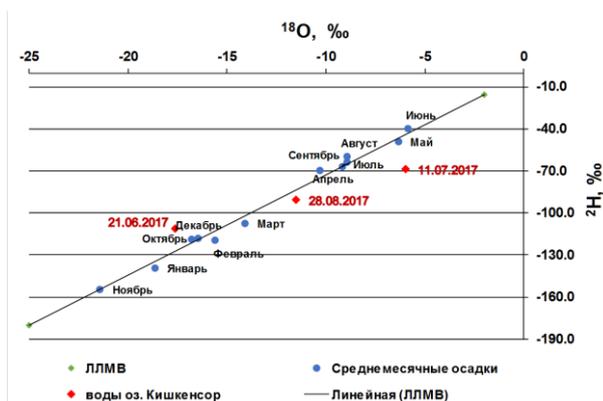


Рисунок 3. Сравнительный изотопный анализ

Анализ полученных данных показал, что изотопный состав воды, отобранной в июне (21.06.2017), характеризуется остаточными водами, образованными после весеннего снеготаяния. На это указывает то, что значения стабильных изотопов данного периода находятся в области формирования значений изотопов зимнего периода. Далее, в июле (11.07.2017) фиксируется существенное утяжеление значений изотопов (значения расположены в области испарения), которое оценивалось по величине эксцесса (избытка) дейтерия $\delta x_s = \delta^2\text{H} - 7,1 \cdot \delta^{18}\text{O}$. Согласно вычислениям, значение δx_s составило -26,2‰. Полученные результаты говорят о том, что фракционирование изотопов в воде данного водоема в первую очередь связано с процессом испарения, при котором в остаточной воде конденсируются тяжелые изотопы.

В августе (28.08.2017) значения стабильных изотопов в поверхностных водах оз. Кишкенсор должны находиться в утяжеленных значениях, так как водоем подвергается процессу испарения. Однако, в данный период наблюдается повторное облегчение значений стабильных изотопов поверхностных вод. Вероятнее всего, такое изменение изотопного состава воды свя-

зано с разгрузкой относительно легких подземных вод в поверхностные.

Для проверки данного предположения проведен сравнительный анализ подземных вод района оз. Кишкенсор со значениями изотопов среднемесячных атмосферных осадков [12]. Результаты представлены на рисунке 4.

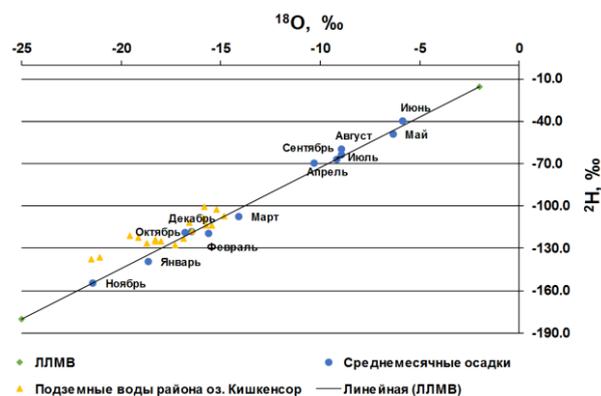


Рисунок 4. Сравнительный изотопный анализ

Согласно полученным данным установлено, что изотопный состав подземных вод соответствует изотопному составу атмосферных осадков, выпавшим в зимний период. Таким образом выявлено, что источником питания подземных вод являются снежные осадки, которые в результате весеннего снеготаяния инфильтруются в полости «боевых» скважин. Вследствие этого, происходит разгрузка загрязненных подземных вод на дневную поверхность водоема. Максимальный пик выноса загрязненных подземных вод приходится на август, что подтверждается повышением удельной активности ^3H до 200 000 Бк/кг в этот же период.

Таким образом, установлено что радионуклидное загрязнение поверхностных вод оз. Кишкенсор происходит в результате разгрузки радиоактивно-загрязненных подземных вод.

Участок р. Шаган

Результаты лабораторных анализов поверхностных (5 км) и подземных (скв. 5ПН) вод, отобранных проб в русле р. Шаган, представлены в таблице 2.

Согласно полученным данным, содержание ^3H в подземных водах в период с июня по август практически не изменяется, тогда как в поверхностных водах отмечаются сезонные изменения концентрации ^3H .

Также наблюдаются существенные сезонные колебания в содержании стабильных изотопов. Повсеместно, с июня по июль регистрируется утяжеление стабильных изотопов в воде. Например, отмечено существенно утяжеление по ^2H от -104,2‰ в июне до -56,9‰ в июле. Однако, в августе на всех участках исследования фиксируется облегчение стабильных изотопов.

**ОПТИМИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ВОД НА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ УЧАСТКАХ СИП
ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА ИЗОТОПНОЙ ГИДРОЛОГИИ**

Таблица 2. Результаты измерений ^3H и $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ в поверхностных и подземных водах

№	Место отбора	Точка отбора	Дата отбора	^3H , Бк/кг	^2H , ‰	^{18}O , ‰
1	5 км	скв. 5ПН	22.06.2017	320 000 ± 32 000	-122,7	-19,8
2		скв. 5ПН	11.07.2017	337 000 ± 34 000	-99,30	-11,0
3		скв. 5ПН	28.08.2017	337 800 ± 34 000	-119,9	-14,9
4		5 км	22.06.2017	25 000 ± 2 500	-109,0	-17,0
5		5 км	12.07.2017	70 000 ± 7 000	-72,0	-7,0
6		5 км	28.08.2017	320 000 ± 32 000	-100,7	-11,1

Для определения механизмов формирования вод р. Шаган проведен сравнительный анализ результатов изотопного анализа со значениями изотопов в атмосферных выпадениях. Результаты представлены на рисунке 5.

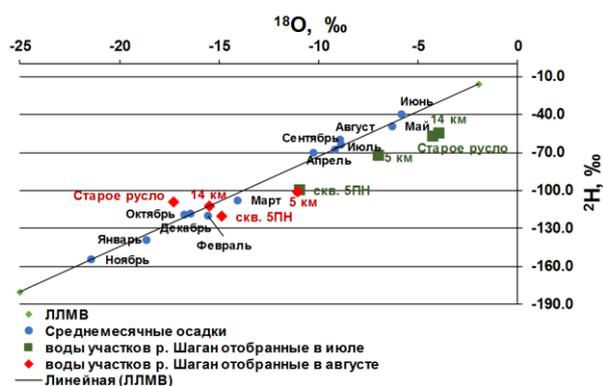


Рисунок 5. Сравнительный изотопный анализ

Согласно данным, изотопный состав вод, отобранных в июле, характеризуется утяжеленными значениями, которые на ЛЛМВ соответствуют области выпадения летних осадков. Воды, отобранные в августе, расположены в области формирования зимних атмосферных выпадений и характеризуются облегченным значением изотопов. Эти данные указывают на то, что в августе происходит разгрузка облегченных подземных вод, также, как и на оз. Кишкенсор, что подтверждается результатами измерения уровня подземных вод в скважине 5ПН р. Шаган (таблица 3).

Выявлено, что в период с мая по июнь происходит уменьшение уровня подземных вод на 35 см, а в августе наблюдается увеличение уровня на 50 см.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фор Г. Основы изотопной геологии. // М. Мир. 1989. 585 с.
2. Васильчук Ю.К., Котляков В.М. Основы изотопной геокриологии и гляциологии. // М.: Изд-во Московского университета. 2000. 616 с.
3. Craig H. // Science. 1961. V. 133. P. 1702–1703.
4. Брезгунов В.С., Есиков А.Д., Ферронский В.И., Сальнова Л.В. Пространственно-временные вариации изотопного состава кислорода атмосферных осадков и речных вод на территории северной части Евразии, их связь с использованием температуры // Водные ресурсы. – 1998. – Т. 25, № 1. – С. 73–84.
5. Васильчук Ю.К., Чижова Ю.Н. Высотный градиент распределения $\delta^{18}\text{O}$ и δD в атмосферных осадках и в снежном покрове высокогорных районов // Криосфера Земли. 2010. Т. 14. № 1. С. 13–21
6. Актаев М.Р., Айдарханов А.О., Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н. Определение источников формирования загрязненных подземных и поверхностных вод площадки «Балапан» на Семипалатинском испытательном полигоне // Радиоактивность

Таблица 3. Измерение уровня подземных вод в скважине 5ПН

№ п/п	Дата	Уровень подземных вод, м	Изменение уровня подземных вод, см
1	22.06.17	2,65	0
2	11.07.17	2,80	-35
3	28.08.17	2,30	+50

По результатам выполненных работ установлено, что исследуемый участок р. Шаган также подвергается радиоактивному загрязнению в процессе разгрузки подземных вод.

Выводы

В ходе проведения исследований, на основе построения ЛЛМВ установлено, что коэффициент регрессии ЛЛМВ относительно ГЛМВ составил $R^2=1$. Наиболее «тяжелые» значения стабильных изотопов в атмосферных осадках регистрируются с апреля по сентябрь. Облегченный изотопный состав осадков характерен периоду с октября по март. Данные колебания обусловлены сезонными изменениями температуры воздуха.

Установлено, что пик концентрации ^3H в воде на оз. Кишкенсор и р. Шаган приходится на август месяц. Это объясняется повышением уровня подземных вод, вследствие чего происходит вынос радионуклидов с полостей «боевых» скважин.

При помощи метода изотопной гидрологии выявлено, что источником питания подземных вод являются атмосферные осадки. Основная доля запасов подземных вод пополняются зимними осадками в период половодья. Также определено, что радионуклидное загрязнение поверхностных вод происходит в результате разгрузки загрязненных подземных вод на всех участках исследования. Пик разгрузки совпадает с пиком максимальной концентрации ^3H в воде, и приходится на август месяц.

Полученные данные позволили скорректировать рекомендации для проведения мониторинговых наблюдений исследуемых водных объектов, а также спрогнозировать развитие радиационной обстановки на данных участках. Основываясь на результатах проведенных исследований принято решение проводить мониторинговые наблюдения в период с августа по сентябрь, когда возможно зафиксировать максимальные концентрации радионуклидов в воде.

- и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы V Международной конференции, г. Томск, 13–16 сентября 2016 г. – Томск STT, 2016. – с. 43
- 7 Актаев М. Р. Выявление механизмов формирования подземных и поверхностных вод площадки «Балапан» // Конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов РГП НЯЦ РК, конф., 18–20 мая 2016 г. – Курчатов, 2016.
 - 8 Токтаганов, Т. Ш. Оценка механизмов формирования водных объектов СИП с применением метода изотопной гидрологии // Конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов РГП НЯЦ РК, конф., 02–05 мая 2017 г. – Курчатов, 2017.
 - 9 ГОСТ СТ РК Р 51593 – 2003. Вода питьевая. Отбор проб. – Введ. 2005-01-01. – Астана: Госстандарт, 2003. – 14 с. – Инв. № Т-862.
 - 10 Качество воды. Определение объемной активности трития. Метод подсчета сцинтилляций в жидкой среде: Международ. стандарт ISO 9698, 2010-12-15: ISO 9698: 2010(E) 07. 03. 2000 г. Учетная регистрация в Республике Казахстан № 116/149.
 - 11 Екайкин, А. А. Стабильные изотопы воды в гляциологии и палеогеографии: метод. пособие // А. А. Екайкин. – Санкт-Петербург, 2016. – С. 15–22.
 - 12 Актаев М.Р. Исследование характера и механизма формирования радионуклидного загрязнения оз. Кижкенсор на площадке «Балапан» // Конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов РГП НЯЦ РК, конф., 02–05 мая 2017 г. – Курчатов, 2017.

ИЗОТОПТЫ ГИДРОЛОГИЯ ӘДІСІНІҢ КӨМЕГІМЕН ССП-НЫҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ ҚАУІПТІ ТЕЛІМДЕРІНДЕГІ СУЛАРДЫ МОНИТОРИНГІЛІК БАҚЫЛАУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Т.Ш. Токтаганов, А.О. Айдарханов, М.Р. Актаев, Б.А. Көкежанов, С.С. Пронин, А.О. Искенов

ҚР ҰҰО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

Бұл мақалада, радионуклидтік ластанған жерлердегі жерасты суларының қалыптасу ерекшелігін анықтау бойынша нәтижелер келтірілген. Жерасты суларының негізгі қорек көзі қысқы атмосфералық жауын-шашындар екені анықталды. Сонымен қатар, жерасты суларының жерүстіне жүктемеленуі тамыз айында жүретіні анықталды. Бұл деректер тұрақты изотоптарды өлшеу, сонымен қатар Шаған өз. арнасындағы жерасты суларының орналасу деңгейін өлшеу нәтижелерімен нақтыланды. Бұл кезеңде, жерасты суларының жүктемеленген жерлерінде Шаған өз. мен Кижкенсор өз. жербеткі суларында техногенді радионуклидтердің максималды түрде шоғырлануы байқалады. Бұл, жерасты суларының деңгейі жоғарылауы кезінде «әскери» ұңғымалардың қуыстарынан радионуклидтердің шайылуы орын алуымен түсіндіріледі.

OPTIMIZING MONITORING OBSERVATIONS OF WATER IN RADIATION HAZARDOUS AREAS OF STS BY MEANS OF ISOTOPE HYDROLOGY TECHNIQUE

T.Sh. Toktaganov, A.O. Aidarkhanov, M.R. Aktayev, B.A. Kokezhanov, S.S. Pronin, A.O. Iskenov

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

The article addresses determinations of features of ground water formed at places of radionuclide contaminations. It is found that the major source of ground water recharge is winter atmospheric precipitation. It is also revealed that ground water discharge into surface water occurs in August. This data is confirmed by measured results of stable isotopes as well as my measured level of ground water occurring in the bed of the Shagan river. During this period at places of ground water discharge there is a maximum concentration of man-made radionuclides in surface water of the Shagan river and Kishkensor lake. This is attributed to the fact that when the level of ground water increases radionuclides are washed out of cavities of “warfare” boreholes.