

УДК 556.314:544.54

DOI: 10.31660/0445-0108-2023-5-11-20

**Оценка радиационной безопасности в водных экосистемах,
сформированных самоизливающимися скважинами (на примере
водотока: скважина № 36-РГ — ручей — р. Аремзянка)**

А. С. Александров*, В. А. Бешенцев, А. С. Альжанова

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**asaleksandrov1991@gmail.com*

Аннотация. Представлены исследования воздействия геотермальной воды самоизливающейся разведочной скважины Черкашинской № 36-РГ на экосистемные водотоки. Скважина была пробурена в 1965 году для изучения залежей йодобромной воды. В данной работе показаны оценки допустимого содержания радиационной опасности воды и близлежащих донных отложений самотечных гидрогеологических скважин, а также дана оценка естественной радиационной безопасности работы с этими материалами персонала геологоразведочных и народно-хозяйственных предприятий. В статье приводятся данные обследования естественного радиационного фона, а также данные по естественной радиоактивности донных отложений и объемному содержанию радия в воде. Показаны исследования естественной радиоактивности донных отложений калия (^{40}K) и тория (^{232}Th). Актуальность работы обусловлена полувекковым загрязнением высокоминерализованными йодобромными водами водосбора одной из крупнейших трансграничных рек Западной Сибири — р. Иртыш. Следует отметить, что р. Аремзянка является притоком 1-го порядка р. Иртыш, в нее впадает ручей, текущий от фонтанирующей разведочной скважины № 36-РГ.

Ключевые слова: естественная радиоактивность, река Иртыш, река Аремзянка, геотермальная вода, донные отложения

Для цитирования: Александров, А. С. Оценка радиационной безопасности в водных экосистемах, сформированных самоизливающимися скважинами (на примере водотока: скважина № 36-РГ — ручей — р. Аремзянка) / А. С. Александров, В. А. Бешенцев, А. С. Альжанова. – DOI 10.31660/0445-0108-2023-5-11-20 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2023. – № 5. – С. 11–20.

**A radiation safety assessment in aquatic ecosystems formed
by self-discharging wells: a case study of the watercourse:
the well No. 36-RG — a stream — the Aremzyanka River**

**Andrey S. Aleksandrov*, Vladimir A. Beshentsev,
Aynazhan S. Alzhanova**

Abstract. This article investigates the impact of geothermal water from the Cherkashinskaya No. 36-RG self-injection exploration well on ecosystem watercourses. The well was drilled in 1965 to investigate deposits of iodine-bromine water. This article presents estimations of the acceptable levels of radiation hazard content in the water and near-bottom sediments of gravity-flow hydrogeological wells. The radiation safety of working with these materials for personnel in geological exploration and national economic enterprises is also evaluated. The article provides information on the study of the natural radiation background, as well as results on the natural radioactivity of the bottom sediments and the volumetric radium content of the water. Natural radioactivity in the bottom sediments of potassium (^{40}K) and thorium (^{232}Th) is analyzed in this study. The relevance of this research originates from over fifty years of pollution by highly mineralised iodine-bromine water within the catchment area of one of Western Siberia's largest transboundary rivers, the Irtysh River. The Aremzyanka River is first-order tributary of the Irtysh River, and it receives water from a stream originating from exploration well No. 36-RG.

Keywords: natural radioactivity, Irtysh River, Aremzyanka River, geothermal water, bottom sediments

For citation: Aleksandrov, A. S., Beshentsev, V. A., & Alzhanova, A. S. (2023). A radiation safety assessment in aquatic ecosystems formed by self-discharging wells: a case study of the watercourse: the well No. 36-RG — a stream — the Aremzyanka River. *Oil and Gas Studies*, (5), pp. 11-20. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2023-5-11-20

Введение

Вопросы радиологической безопасности в настоящее время стоят достаточно остро, в связи с чем проведение радиологических исследований является обязательным при мониторинге изучаемых территорий [1]. Естественные радиоактивные вещества широко распространены в природе и в подземных водах. Их излучение создает естественный радиационный фон внешнего облучения.

Тюменская область чрезвычайно богата ресурсами подземных минеральных термальных вод, запасы которых составляют около 3 млн м³ в сутки и относятся к Западно-Сибирскому бассейну [2]. Эти ресурсы были вскрыты почти на всей территории юга Тюменской области разведочными скважинами, пробуренными в 1950–1980-х гг. при поисках месторождений нефти и газа, а также йодобромных вод. Водоносные пласты обнаружены в отложениях мезозойского гидрогеологического бассейна (апт-альб-сеноманский и неокомский гидрогеологические комплексы) на глубине 1–2 км и в более глубоких верхнеюрских отложениях (более 2 км). Многие геотермальные скважины были пробурены в 1950–1960-х гг. прошлого века при поисково-разведочных работах и в настоящее время являются бесхозными. Общее количество самоизливающихся геотермальных скважин по югу области составляет 22, из них 13 в Тобольском районе [3].

Объект и методы исследования

На территории Тобольского района Тюменской области есть Черкашинское и Тобольское месторождения термальных йодных и йодобромных

вод [2]. Обследование скважин, проводимое с 2008 года, показало, что из 27 законсервированных скважин Тобольской группы проявление флюидов было отмечено в 13 скважинах [3]. В их числе скважина Черкашинская № 36-РГ (рис. 1), пробуренная в 1965 году.

Исследуемый объект — территория вблизи скважины № 36-РГ Черкашинского месторождения йодобромных вод, которая находится на II надпойменной террасе р. Аремзянки (на востоке Тобольского района), в Тобольском районе Тюменской области. Река Аремзянка впадает в р. Иртыш справа на 576 м от устья, 0,5 км севернее д. Панушкова. Длина реки — 98 км, площадь бассейна — 957 км², русло реки извилистое, песчано-илистое [4], в реку впадает ручей, текущий с исследуемой скважины.



*Рис. 1. Скважина Черкашинская № 36-РГ,
июнь 2019 г. (авторское фото)*

Территория скважины Черкашинской № 36-РГ выбрана неслучайно, скважина пробурена в 1965 году Тобольской партией глубокого бурения «Главтюменьгеология» на северной окраине д. Шестаково. Минеральные термальные воды вскрыты скважиной в интервале глубин 1 681–1 747 и 1 797–1 889 м. Данные воды приурочены к терригенным отложениям (песчаники, аргиллиты, алевролиты) аптского и готерив-барремского ярусов нижнего мела [5]. При опробовании дебит скважины составил 42 м³/ч. Температура воды на изливе 73 °С. В настоящее время слив воды осуществляется в понижение рельефа и через ручей в р. Аремзянку. Длина ручья постоянного стока составляет 223 м.

Необходимо отметить, что в стратиграфическом разрезе мезозойского чехла Западно-Сибирской плиты имеют широкое распространение отложения нефтеносной баженовской свиты верхней юры — нижнего мела, представленные в различной степени битуминозными черными аргиллитами и глинами с прослоями карбонатных и кремнистых пород [2], а пачка пород баженовской свиты имеет повышенные значения радиоактивности. Поэтому в районе скважины Черкашинской № 36-РГ и проведены исследования естественной радиоактивности донных отложений и объемного содержания радия в воде.

Исследование естественной радиоактивности включало в себя исследование донных отложений в районах скважины и ручья, текущего от скважины в р. Аремзянку (2 створа).

Донные отложения брали с помощью специального пробоотборника (площадь сечения — 36 см², глубина ~ 30 см).

Исследования были проведены в январе–феврале 2019 года на трех створах.

Места отбора проб воды (рис. 2, табл. 1):

- 1) скважина № 36-РГ;
- 2) ручей в 90 м ниже устья скважины;
- 3) ручей в 200 м ниже устья скважины, перед впадением

в р. Аремзянку.



Рис. 2. Места отбора проб

Объектом исследования также являлась вода, взятая в обозначенных створах. Каждая проба отбиралась в стеклянную посуду. Перед транспортировкой пробы консервировали. Пробы воды для анализа брались из расчета не менее 100 литров на повторность.

Станции отбора проб

Объект	Описание	Координаты
Створ 1	Скважина	58°27'28.57"С 68°27'54.86"В
Створ 2	Ручей в 90 м ниже скважины	58°27'32.95"С 68°27'59.44"В
Створ 3	Ручей в 200 м ниже скважины, перед впадением в р. Аремзянку	58°27'33.63"С 68°28'1.82"В

Обработка результатов исследований проведена в лаборатории радиационной экологии Тюменского государственного университета (ТюмГУ), отбор и исследование проб воды на объемную активность радия — в испытательной лаборатории АО «Региональный Аналитический Центр», измерение уровня поверхностной радиоактивности осуществлялось с помощью радиометра СРП-88Н.

Для исследования радиоактивности донных отложений в районе скважины Черкашинской № 36-РГ в лаборатории радиационной экологии ТюмГУ на спектрометрическом комплексе «УСК – Гамма плюс» определяли:

- активность ^{226}Ra ;
- активность ^{232}Th ;
- активность ^{40}K ;
- активность ^{137}Cs .

Прибор геологоразведочный сцинтилляционный СРП-88Н используется для измерений радиоактивности по гамма-излучению, а также как радиометр для контроля внешней среды. Радиометр СРП-88Н имеет высокую чувствительность при поиске радиоактивных аномалий.

Эффективная активность проб вычислялась по формуле

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31 A_{\text{Th}} + 0,085 A_{\text{K}}. \quad (1)$$

Для установления радиационно-гигиенических требований, а также для установления требований по обеспечению радиационной безопасности населения и работников организаций нефтегазового комплекса ограничения загрязнения среды обитания людей природными радионуклидами и планирования видов и объема радиационного контроля при обращении с производственными отходами, по обращению с ними рассматривали в соответствии с СанПиН 2.6.6.1169-02¹.

¹ СанПиН 2.6.6.1169-02. Обеспечение радиационной безопасности при обращении с производственными отходами с повышенным содержанием природных радионуклидов на объектах нефтегазового комплекса Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Введ. 2003-01-01. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901832978>.

В данном документе вводится классификация производственных отходов по эффективной удельной активности природных радионуклидов ($A_{эфф}$) в них (табл. 2).

Таблица 2

Классификация производственных отходов предприятий нефтегазового комплекса

Категория отходов	Эффективная удельная активность природных радионуклидов ($A_{эфф}$), кБк/кг	Мощность дозы гамма-излучения природных радионуклидов, содержащихся в отходах (Н), мкГр/ч
Первая	$A_{эфф} \leq 1,5$	$H \leq 0,7$
Вторая	$1,5 < A_{эфф} \leq 10,0$	$0,7 < H \leq 4,4$
Третья	$A_{эфф} > 10,0$	$H > 4,4$

Результаты

Анализ проб донных отложений в районе скважины № 36-РГ Черкашинского йодобромного месторождения показал, что содержание радионуклидов радия (^{226}Ra) менялось от створа к створу. Это видно по результатам исследований (табл. 3).

Таблица 3

Естественная радиоактивность ^{226}Ra в районе скважины Черкашинской № 36-РГ

Наименование показателя, единица измерения	Место отбора проб, тип отложений		
	Скважина № 36-РГ	Ручей в 90 м ниже устья скважины	Ручей в 200 м ниже устья скважины, перед впадением в р. Аремзянку
	Глинистая порода		
Активность ^{226}Ra , Бк/кг	18,45	13,15	22,22
Объемная активность радия (^{226}Ra) Бк/дм ³	0,68	0,31	< 0,3
Ra, мкЗв/ч	0,09	0,09	0,09

Следует отметить, что активность тория (^{232}Th , Бк/кг) имела следующие показатели: в створе 1 — 28,00 Бк/кг; в створе 2 — 42,70 Бк/кг; в створе 3 — 74,50 Бк/кг.

Также была изучена активность калия (^{40}K , Бк/кг), которая в районе скважины Черкашинской № 36-РГ составляет 362,70 Бк/кг; в ручье, расположенном в 90 м ниже устья скважины, — 375,40 Бк/кг; в ручье, который находится в 200 м ниже устья скважины, перед впадением в р. Аремзянку, — 319,80 Бк/кг.

Получены и изучены результаты цезия (^{137}Cs , Бк/кг): в створе 1 — 3,52 Бк/кг; в ручье, расположенном в 90 м ниже устья скважины, — 2,30 Бк/кг; в ручье, находящемся в 200 м ниже устья скважины, — 5,36 Бк/кг.

Следует отметить, что все полученные данные были изучены и проанализированы. Особое внимание необходимо обратить на то, что исследования радиоактивности донных отложений проводились в районе скважины Черкашинской № 36-РГ, а выбранные участки находились на разном расстоянии от скважины и различались по плотности загрязнения почв.

Обсуждение

Естественная радиоактивность почв определяется содержанием природных радионуклидов тория (^{232}Th), радия (^{226}Ra), калия (^{40}K) и урана (^{238}U), главным источником которых являются почвообразующие породы.

Исследования об удельной активности природного радионуклида (^{226}Ra) показывают, что в районе скважины она составляет 18,45 Бк/кг, далее, в ручье в 90 м ниже скважины резко уменьшается, а далее, перед впадением в р. Аремзянку активность ^{226}Ra увеличивается более чем на 60 % и равна 22,22 Бк/кг (рис. 3). Наибольшее содержание радия (^{226}Ra) наблюдается в районе ручья, который расположен в 200 м ниже скважины, перед впадением в р. Аремзянку.



Рис. 3. Активность ^{226}Ra , Бк/кг

Объемная активность радия (^{226}Ra) Бк/дм³ представляет другую картину, так, наиболее высокий уровень можно наблюдать непосредственно у скважины Черкашинской № 36-РГ — 0,68 Бк/дм³, но он более чем в 2 раза резко понижается к ручью в 90 м ниже устья р. Аремзянки (в отличие от исследуемой скважины) и составляет 0,31 Бк/дм³. Далее, видно постепенное снижение у ручья, находящегося в 200 м ниже устья скважины, перед впадением в р. Аремзянку, до < 0,3 Бк/дм³.

В работе И. И. Плумана «Возможности использования данных по радиоактивности для решения некоторых задач нефтяной геологии в Западной Сибири» [6] показано, что концентрация урана в глинах баженковского горизонта, варьирует от 0,0004 до 0,0078 % (табл. 4). Наибольшее содержание тория в баженитах по данным автора составляет 18 г/т, то есть радиоактивность имеет в основном урановую природу.

Таблица 4

Содержание естественных радиоактивных элементов в породах Западно-Сибирской плиты [6]

Порода	Количество проб	Уран, 10–4 %		Торий, 10–4 %		Калий, %	
		От – До	Средн.	От – До	Средн.	От – До	Средн.
Аргиллит (цементированный)	58	1,0–5,0	2,6	3,7–13,2	7,3	1,2–4,8	2,2

Особый интерес представляет калий (^{40}K), являющийся изотопом, его содержание высоко на всех станциях. У ручья, расположенного в 90 м ниже устья скважины, данный изотоп имеет величину 375,40 Бк/кг, а у ручья, находящегося в 200 м ниже устья скважины, перед впадением в р. Аремзянку, количество его уменьшается и составляет 319,80 Бк/кг.

Иная картина наблюдается у тория (^{232}Th): его содержание возрастает от скважины к ручью, расположенному в 200 м ниже устья скважины, перед впадением в р. Аремзянку. Наибольший уровень отмечен у ручья, расположенного в 200 м ниже устья скважины, — 74,50 Бк/кг, в то время как низкий уровень наблюдается у тория (^{232}Th) в районе самой скважины № 36-РГ — 28,00 Бк/кг.

Имеющиеся данные позволяют говорить о неравномерном накоплении радиоактивных элементов, таких как радий (^{226}Ra), торий (^{232}Th), а также изотопов калия (^{40}K). Эффективная активность каждой из проб донных отложений не превышает 1 500 Бк/кг. По этому показателю анализируемые донные отложения относятся к первой категории производственных продуктов предприятий нефтегазового комплекса, согласно

СанПиН 2.6.6.1169-02². Это означает, что донные отложения вблизи самоизливающихся йодобромных скважин могут храниться и утилизироваться как обычные промышленные отходы.

Согласно СанПиН 2.6.1.2523-09³, максимальное содержание ²²⁶Ra равняется 22,2 Бк/кг в ручье в 200 м ниже устья скважины, перед впадением в р. Аремзянку, как видно из таблицы 2, даже при максимальном значении превышения не имеется.

Радиоактивность глинистых пород по сравнению с другими породами осадочного комплекса объясняется их большой удельной поверхностью и способностью к адсорбции радиоактивных элементов, длительностью накопления пелитового материала, обеспечивающего увеличение содержания урана (²³⁸U), тория (²³²Th), калия (⁴⁰K) в осадке.

Выводы

Таким образом, важно знать количественную оценку естественной радиоактивности донных отложений и объемного содержания радия в воде, так как распределение таких радионуклидов, как урана (²³⁸U), тория (²³²Th), калия (⁴⁰K), приобретает все большую актуальность в наши дни.

Данные оценки по результатам исследований могут быть использованы специалистами в области охраны окружающей среды и радиационной безопасности.

Список источников

1. Радиация как экологический фактор при антропогенном загрязнении / Под редакцией А. И. Таскаева. – Сыктывкар : Коми фил. АН СССР, 1984. – 132 с. – (Тр. Коми фил. АН СССР). – Текст : непосредственный.
2. Старков, В. Д. Геологическая история и минеральные богатства Тюменской земли / В. Д. Старков, Л. А. Тюлькова. – Тюмень : ИПП «Тюмень», 1996. – 190 с. – Текст : непосредственный.
3. Коновалов, И. А. Экологическое состояние территорий в районах разведочных скважин нераспределенного фонда недр юга Тюменской области / И. А. Коновалов, И. В. Пак. – Текст : непосредственный // Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов : тезисы докладов международной конференции, Тюмень, 11–13 октября 2010 г. – Тюмень : ТюмГУ, 2010. – С. 177–179.
4. Лёзин, В. А. Реки и озера Тюменской области : Тобольский и Вагайский районы : энциклопедический словарь / В. А. Лёзин. – Тюмень : ТюмГУ, 2017. – 232 с. – Текст : непосредственный.
5. Ковальчук, А. И. Бром, йод и бор в подземных водах нижнеэоценового водоносного горизонта Тобольского артезианского бассейна / А. И. Ковальчук, С. О. Юшкова, И. В. Бортников ; Институт геологии и геохимии Урал. науч. центра АН СССР. 1983 г. Информ. материалы. – Текст : непосредственный // Ежегодник. – Свердловск, 1984. – С. 37–40.

² СанПиН 2.6.6.1169-02. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901832978>.

³ СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 [Электронный ресурс]. – Введ. 2009-07-07. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902170553>.

6. Плуман, И. И. Возможности использования данных по радиоактивности для решения некоторых задач нефтяной геологии в Западной Сибири / И. И. Плуман. – Текст : непосредственный // Геологическое строение и нефтегазонасыщенность юга Западной Сибири по новым данным / Под редакцией Н. П. Запывалова. – Тюмень, 1976. – С. 108–113.

References

1. Taskaev, A. I. (Ed.) (1984). Radiatsiya kak ekologicheskiy faktor pri antropogenom zagryaznenii. Syktyvkar, Komi fil. AN SSSR Publ., 132 p. (In Russian).
2. Starkov, V. D., & Tyul'kova, L. A. (1996). Geologicheskaya istoriya i mineral'nye bogatstva Tyumenskoy zemli. Tyumen, IPP "Tyumen" Publ., 190 p. (In Russian).
3. Konovalov, I. A., & Pak, I. V. (2010). Ekologicheskoe sostoyanie territoriy v rayonakh razvedochnykh skvazhin neraspredelenного фонда недра юга Tyumenskoy oblasti. Environment and natural resource management: abstracts from international conferences, Tyumen, October, 11-13, 2010. Tyumen, Tyumen State University Publ., pp. 177-179. (In Russian).
4. Lezin, V. A. (2017). Reki i ozera Tyumenskoy oblasti: Tobol'skiy i Vagayskiy rayony: entsiklopedicheskiy slovar'. Tyumen, University of Tyumen, 232 p. (In Russian).
5. Koval'chuk, A. I., Yushkova, S. O., & Bortnikov, I. V. (1984). Brom, yod i bor v podzemnykh vodakh nizhneeotsenovogo vodonosnogo gorizonta Tobol'skogo artezianskogo basseyna. Ezhegodnik. Sverdlovsk, pp. 37-40.
6. Pluman, I. I. (1976). Vozможности ispol'zovaniya dannykh po radioaktivnosti dlya resheniya nekotorykh zadach neftyanoy geologii v Zapadnoy Sibiri. Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' yuga Zapadnoy Sibiri po novym dannym. Tyumen, pp. 108-113. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Александров Андрей Сергеевич, старший преподаватель кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, asaleksandrov1991@gmail.com

Бешицев Владимир Анатольевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Альжанова Айнажан Сансыбаевна, аспирант кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Andrey S. Aleksandrov, Senior Lecturer at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, asaleksandrov1991@gmail.com

Vladimir A. Beshentsev, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen

Aynazhan S. Alzhanova, Post-graduate at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen

Статья поступила в редакцию 29.08.2023; одобрена после рецензирования 06.10.2023; принята к публикации 16.10.2023.

The article was submitted 29.08.2023; approved after reviewing 06.10.2023; accepted for publication 16.10.2023.