

Геологические условия формирования радиоактивных подземных вод на территории восточного Оренбуржья

Е.В. Левин, к.ф.-м.н., ООО «НИПИЭП»; Н.П. Галянина, аспирантка, ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ

Оренбургская область занимает обширную территорию на юго-восточной окраине европейской части России и находится в очень сложных геоструктурных и гидрогеологических условиях. На её территории стыкуются крупные геоструктурные единицы, такие, как Русская платформа, Горный Урал, Прикаспийская низменность, их переходные зоны – Приуральский прогиб и Зауральное плоскогорье.

Территория области по геологическим и геоморфологическим особенностям подразделяется на восточную – Уральскую складчатую и западную – равнинную, платформенную части. Различия их существенны. Для них характерен свой набор структурно-формационных зон, гидрогеологических особенностей и различных комплексов полезных ископаемых. Платформенное Оренбуржье – структуры юго-востока Русской платформы. Гидрологическая обстановка – крупные артезианские бассейны. Полезные ископаемые представлены углеводородным сырьём, нефтью, газом, битумами. Восточная часть – это область развития складчатых структур. Здесь своя металлогения, эндогенные месторождения золота, меди, полиметаллов, вольфрама, молибдена и рудопроявления урана [1].

Материал и методы исследования. Для изучения геологических условий формирования радиоактивных подземных вод на территории восточного Оренбуржья были использованы следующие методы: 1) анализ фондовых и литературных источников. С помощью этого метода были выделены районы, потенциально опасные по радону, с широким развитием специализированных комплексов горных пород и месторождений урана. Определены закономерности формирования радиоактивных подземных вод на исследуемой территории. 2) химический анализ воды с целью определения концентрации радона.

Материалом для исследования служили пробы воды из водозаборных скважин подземных вод Адамовского, Кваркенского, Домбаровского и Новоорского районов Оренбургской области.

Результаты исследования. Объекты урана в пределах области представлены только проявлениями и относятся к гидротермальному, магматическому, гидрогенно-инфильтрационному и осадочному типам [2].

Проявление Домбаровское относится к урановой березитовой формации и приурочено к северной части рудного поля медно-цинкового колчеданного месторождения Весеннее, к зоне экзоконтакта Кошенсайского массива гранитоидов. Оруденение локализуется в ураноносных минерализованных зонах, представляющих

собой участки интенсивной трещиноватости, рассланцевания, смятия и дробления в базальтах киембаевской свиты. Тектонические трещинки, зонки дробления образуют сложную систему их переплетения по типу штокверка. Всего насчитывается до пяти ураноносных зон мощностью от 0,05 до 2,7 м. Площадь участка с промышленным оруденением – 0,03 км². Наиболее богатые ураноносные зоны подсечены скважинами на глубинах 143,5 – 148 м и 222,8 – 224,2 м. Базальты там метасоматически изменены и превращены в кварц-хлоритовые, кварц-серицит-хлоритовые, карбонат-хлоритовые породы. Урановые минералы представлены коффином и настуром; минералы-спутники – герсдорфит, сфалерит, галенит, халькопирит, молибденит. Содержание урана невыдержанное, от сотых долей % до 10 – 15% (среднее 0,5%). Сопутствующие элементы – свинец, иттрий, никель, мышьяк, сурьма, медь, кобальт, кадмий, селен.

Проявление Джаилганское гидротермального типа представляет другую формацию – урановую в щелочных метасоматитах. Расположено в экзоконтакте Северо-Джаилганского массива кварцевых диоритов, локализовано в серицитизированных и окварцованных риолитах шумилинской свиты. Содержание урана 0,003 – 0,04%.

Проявление Ушкотинское локализовано в кварцевых и пегматитовых жилах в пределах Верхнеушкотинского массива гранитоидов. Содержание урана – 0,016 – 0,07%, тория – 0,08 – 0,01%. Кроме того, в коре выветривания по гранитам оконтурено пять участков размером 50 × 200 – 200 × 500 м с содержанием урана 0,005%. Оруденение отнесено к ураноносной формации в гранитах и пегматитах.

Проявление Акжарское несёт урановую минерализацию в инфильтратах среди отложений брединской свиты (черни и настур); максимальное содержание урана – 0,07%.

Проявление Малдыгулсайское приурочено к глинисто-щебнистой зоне выветривания гранитов Кошенсайского массива; содержание урана на глубине 32 – 38 м до 0,015%, тория – до 0,02%.

Проявление Слюдковское расположено в восточном эндоконтакте Славенского массива биотитовых лейкократовых гранитов, где по трещинам в гранитоидах (а также в дайке пегматитов и кварцевой жиле) выявлена вторичная минерализация урана, представленная шрекенгеритом и метаторбернитом в виде корочек и чешуек. Содержание урана – до 0,0047%, молибдена и бериллия – до 0,01%. В коре выветривания гранитов содержание урана составляет 0,001 – 0,0019%, тория – до 0,0038%; в интенсивно лимонитизированных разностях кор концентрация урана – до 0,0038%.

Проявление Желтинское приурочено к одноименной зоне разломов, пересекающей юго-восточный экзоконтакт Котансинского массива. Здесь отмечаются линзы скарнов и пегматоидных

гранитов с вкраплённостью уранинита, реже молибденита и халькопирита. На глубине 100 – 200 м в коре выветривания скарнов и гранитов оконтурена залежь размером 80 × 900 м, мощностью около 5 м с содержанием урана 0,01 – 0,1%.

Проявление Аккудукское расположено в зоне влияния Западно-Сарыобинского разлома, где в коре выветривания нижнекаменноугольных сланцев и мраморов (мощностью до 30 м) с линзами бурых железняков при радиоактивности до 395 мкР/ч содержание урана достигает 0,05%, Ni, Co, Zn – до 0,1%, W – до 0,01, Se – до 0,4%.

Проявление Аралтубинское, которое находится в восточной части Орской депрессии, локализовано в угленосных глинистых отложениях среднеюрского возраста, вскрытых горными выработками. Содержание урана – до 0,1%, тория – до 0,058%.

Подземные воды, дренирующие все эти отложения, характеризуются повышенными концентрациями урана, на 1 – 2 порядка превышающими фоновые. Уран подземных вод имеет сложное происхождение. Главным источником его поступления в подземные воды зоны активного водообмена обычно являются горные породы и на ограниченных участках – урановая рудная минерализация. Радиоактивность горных пород определяется в основном содержанием ⁴⁰K, ²³⁸U и ²³²Th (табл.).

Удельная активность ⁴⁰K, ²³⁸U и ²³²Th в породах

Порода	Удельная активность, Бк/кг		
	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³² Th
Граниты	1000	60	80
Базальты	240	10	10
Известняки	90	30	710
Песчаники	370	19	10
Сланцы	700	44	45

Мерой радиоактивности является активность радионуклида в источнике. В системе СИ измеряется в Беккерелях (Бк, Вq), что соответствует 1 распаду в сек. Содержание активности в веществе часто оценивают на единицу веса вещества (Бк/кг) или его объёма (Бк/л, Бк/м³) [3].

Обогащение подземных вод радиоактивными элементами связано с эманлирующей способностью горных пород – процессом выделения радона из минералов и горных пород в поровое или трещинное пространство, содержащих урано-радиевую минерализацию. Не все атомы радона могут выделиться в поровое пространство, поэтому для характеристики степени высвобождения радона используется коэффициент эманирования – способность выделять накопленный радон [4]. Его величина зависит от характера породы, её структуры и степени её раздробленности. Чем меньше зёрна породы, чем больше внешняя поверхность зёрен, тем активнее идёт процесс эманирования. Выделение радона существенно зависит от трёх характеристик горных пород: концентрации урана,

пористости и коэффициента эманации. В процессе тектонической деятельности повышается пористость горных пород, образуются системы разнонаправленных трещин, полостей. Тектонические зоны приобретают хорошие коллекторские свойства, в них происходит накопление радона, повышается коэффициент эманирования. Как результат, большая часть тектонических нарушений превращается в радононосные проводящие структуры.

Эманирование подземных вод определяет цепочку распада элементов уранового ряда: $^{238}\text{U} \rightarrow ^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{222}\text{Rn}$. В результате радиоактивного распада образуется радиоактивный газ радон.

Радон-222 и его продукты распада относятся к группе наиболее токсичных радионуклидов и представляют большую опасность для здоровья и жизни человека. Ядра радона-222 при радиоактивном распаде излучают α -частицы, превращаясь в ядра полония-218, при α -распаде которых образуется свинец-214. При β -распаде этого радионуклида образуется висмут-214, который в свою очередь превращается в полоний-214, испуская β -частицу. При α -распаде последнего возникает относительно

долгоживущий свинец-210 (с периодом полураспада 23,3 года) и далее — стабильный изотоп свинца-206 в качестве конечного продукта (рис. 1).

При поступлении радона с питьевой водой в желудочно-кишечный тракт человека этому риску подвергаются желудок, особенно верхняя его часть, и пищевод. Кроме того, радон растворяется в жировых тканях в десятки раз лучше, чем в воде, что способствует накоплению радиоактивных продуктов его распада в человеческом организме [5].

Наибольшую опасность представляет поступление радона с водяными парами при использовании душа, ванны. Аэрозоли имеют субмикронные размеры и проникают в нижние отделы лёгочного тракта, накапливаются в них и создают существенные дозы внутреннего облучения человека — альфа-излучатели, вызывая рак лёгких. Считается, что радон — второй по значимости (после курения) фактор, вызывающий рак лёгких. Рак лёгких, вызванный радоновым облучением, — шестая по частоте причина смерти от рака [6].

В 1995 г. в РФ принят Федеральный закон «О радиационной безопасности населения»

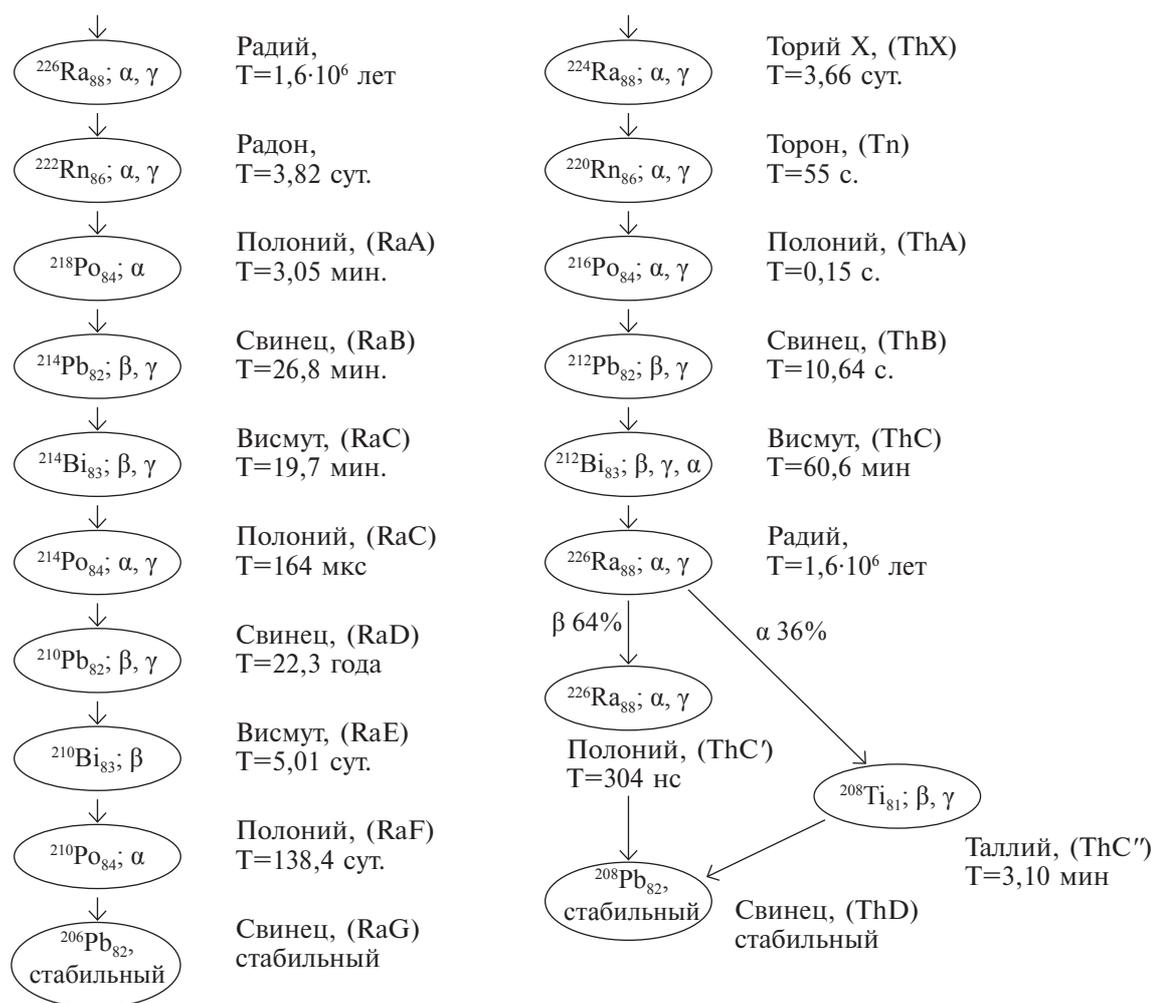


Рис. 1 – Изотопы радона и их дочерние продукты в цепочках распада (символ, путь распада (α -, β -, γ -излучение), наименование, период полураспада T) [4]

и действуют специальные нормы радиационной безопасности. Предельные величины концентрации радона в воздухе помещений можно найти в таких нормативных документах, как НРБ-99 или СП 2.6.1.758–99 (Нормы радиационной безопасности), ОСПОРБ-99 (Основные санитарные правила), СП 2.6.1.1292–2003 (Санитарные правила), а также в методических указаниях МУ 2.6.1.715–98. Российские нормы устанавливают верхнюю границу концентрации радона в воде, при которой требуется вмешательство, равную 60 Бк/л [7].

Содержание радона в подземных водах колеблется от 1 до 300 нКи/л. В зависимости от концентрации радиоактивного газа различают [8]:

– воды с малой концентрацией – от 5 до 40 нКи/л (0,2–1,5кБк/л);

– воды со средней концентрацией – от 40 до 200 нКи/л (1,5–7,5 кБк/л);

– воды с высокой концентрацией – выше 200 нКи/л (>7,5 кБк/л).

Общие ресурсы подземных вод Оренбургской области составляют 6,26 млн м³/сут, в том числе питьевого качества (минерализация до 1 г/л) 5,376 млн м³/сут. [9]. Разведаны запасы подземных вод на 326 месторождениях, они составляют 2024,65 тыс. м³/сут. Добываемая вода водозаборными скважинами используется в объёме 346,82 тыс м³/сут, в том числе на хозяйственно-питьевые цели – 200,58 тыс м³/сут (58%), на производственно-технические цели – 133,58 тыс. м³/сут (39%), для полива приусадебных участков, садов-огородов – 10, 14 тыс. м³/сут. (3%) (рис. 2).

Востребованность подземных вод для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения велика. В условиях растущих потребностей необходим постоянный контроль качества подземных питьевых вод, используемых для хозяйственно-питьевых целей. По данным лабораторных исследований качества воды подземных источников, в Оренбургской области зарегистрировано превышение показателей концентрации радона в воде на территориях Адамовского, Кваркенского, Домбаровского, Новоорского районов.

На территории Адамовского района превышение концентрации радона-222 было зафиксировано в п. Баймурат – 130,2 Бк/кг и п. Аневке – 382,6 Бк/кг. В с. Кваркено Кваркенского района превышение составило 320,38 Бк/кг, на территории Домбаровского района в п. Домбаровский – 246,8 Бк/кг и с. Ушкаты – 67,21 Бк/кг [10]. На территории с. Чапаевка Новоорского района концентрация радона достигала 263 Бк/кг, при этом максимальная активность радона в воде была равна 382,6 Бк/кг, при норме в 60 Бк/кг.

Решение вопроса по удалению радона из воды, поступающей в водопроводную сеть населённых пунктов, является важнейшей задачей по снижению угрозы радиоактивного облучения. Наиболее эффективно удаление радона из воды

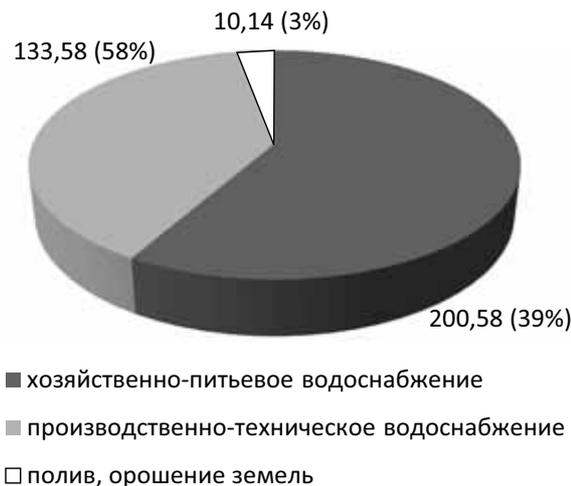


Рис. 2 – Использование подземных вод по целевому назначению

осуществляется несколькими способами: аэрацией, сорбцией, мембранной фильтрацией. ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем» совместно с кафедрой теплогазоснабжения, вентиляции и гидромеханики Оренбургского государственного университета занимаются разработкой автоматизированного аппаратного комплекса очистки воды от радона в водонапорных башнях Рожновского. Водонапорные башни системы Рожновского (ВБР) получили своё широкое распространение в системе водоснабжения в малых населённых пунктах и даже отдельных городских микрорайонах за счёт водонепроницаемости баков, малого веса и заводского изготовления деталей, обеспечивающих относительно быстрый монтаж башен на месте строительства.

Исследован вариант технического решения очистки питьевой воды от радиоактивного газа радона в водонапорной башне Рожновского способом безнапорной аэрации, с помощью титановых аэраторов, заглублённых под уровень воды в ВБР на 4 м. Безнапорная аэрация позволяет снизить концентрацию радона в десятки раз, просто подавая определённый объём воздуха в толщу воды через мелкопузырчатые аэраторы. Во всех случаях получен положительный результат – концентрация радона ниже предельно допустимой величины.

Выводы. В силу геологических особенностей восточная часть Оренбургской области отличается наличием аномально радиоактивных вмещающих пород, высокордиоактивных гранитов, сланцев, углистых пород, являясь источником повышенного фона радиоактивности подземных вод. Запасы подземных вод на территории восточного Оренбуржья – основной источник питьевой воды. Очевидна необходимость внедрения в системы хозяйственно-питьевого водоснабжения методов очистки питьевой воды от радиоактивного газа радона. При этом должны учитываться работоспособ-

ность и эффективность системы в целом. Наиболее эффективным устройством станет то, которое будет максимально надёжным, не потребует постоянного и дорогого обслуживания. Полученные результаты указывают на перспективность дальнейшего исследования, целью которых является разработка экономически выгодного автоматизированного аппаратного комплекса для удаления радона из воды в башнях Рожновского. Они представляют практический интерес для обеспечения радиационной безопасности населения при использовании подземных источников водоснабжения.

Литература

1. Тараборин Д.Г. Оценка состояния радиационной обстановки горнорудных районов Южного Урала и основы районирования территории по степени радиационной опасности // Вестник Оренбургского государственного университета. 2005. № 5. С. 10–111.
2. Лядский П.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (3-е поколение). Серия Уральская. Лист М-40 (Оренбург) с клапаном М-41. Объяснительная записка / П.В. Лядский, Л.Н. Кваснюк, А.В. Жданов, О.В. Чечулина [и др.]. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 392 с.
3. Уткин В.И. Радонная проблема в экологии // Соросовский образовательный журнал. 2000. № 3. С. 79–83.
4. Василенко О.И. Радиационная экология М.: Медицина, 2004. 216 с.
5. Тихонов М.Н. Последствия облучения населения радоном // Экологические системы и приборы. 2010. № 4. С. 36–43.
6. Каприн А. Д. Состояние онкологической помощи населению России в 2013 году / А.Д. Каприн, В.В. Старинский, Г.В. Петрова. М.: ФГБУ «МНИОИ им. П. А. Герцена» Минздрава России, 2014. 235 с.
7. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): гигиенические нормативы. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздравсоцразвития России, 2010.
8. Рихванов Л.П. Радиоактивности и радиоактивные элементы в гидросфере // Материалы V Международной конференции, г. Томск, 13–16 сентября. Томск, 2016 г. С. 549–557.
9. О состоянии и об охране окружающей среды Оренбургской области в 2014 году: государственный доклад. 2015. 264 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.orenburg-gov.ru>.
10. Левин Е.В. Водоснабжение населённых пунктов из подземных источников, загрязнённых радиоактивным газом радоном-222 / Е.В. Левин, Р.Ф. Сагитов, В.Д. Баширов, В.В. Демидочкин, С.В. Василевская, Е.В. Волошин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (63). С. 174–177.