

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 622.831.1:550.8

ОЦЕНКА ПРОЯВЛЕНИЙ РАДОНА НА ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ БЫСТРИНСКОГО РАЙОНА КАМЧАТСКОГО КРАЯ

© 2025 г. В. А. Кудряшов

ФГБУН Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения
Российской академии наук (НИГТЦ ДВО РАН),
Северо-Восточное шоссе 30, Петропавловск-Камчатский, 683002 Россия

E-mail: vladimirkudryasho@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.08.2024 г.
После доработки 17.10.2024 г.
Принята к публикации 25.12.2024 г.

Камчатский край обладает значительными гидротермальными ресурсами. Основные термоминеральные ресурсы, освоенные рядом с краевым центром (г. Петропавловск-Камчатский), испытывают значительную экологическую нагрузку. В то же время многие гидротермальные ресурсы, находящиеся на значительном расстоянии от краевого центра в экологически чистых местностях, недостаточно изучены. Один из них — Быстринский район, расположенный в центре Камчатки, где разведаны и используются три гидротермальных месторождения, на которых проводились исследования с целью установления наличия эманаии радона (ранее в литературе не отмечавшегося). С использованием измерительного комплекса для мониторинга радона “КАМЕРА-01” проведена предварительная оценка наличия радона в попутном газе скважин Анавайского, Быстринского и Эссовского геотермальных месторождений. Отборы проб проводились на угольные сорбционные колонки непосредственно на оголовках скважин. Обработка результатов проводилась по программе “Радон 98”. Время отбора проб, количество колонок и расход газа с верхней точки оголовка скважины подбирались с учетом минимизации проскока радона. В попутном газе эксплуатационных скважин геотермальных месторождений обнаружен радон. Измеренная активность радона на угле комплекса “КАМЕРА-01” варьировалась от 0.4 до 233 Бк. Наличие радона в скважинах гидротермальных месторождений требует целенаправленного изучения экологического воздействия и одновременно открывает перспективы создания курортно-санаторных комплексов в Быстринском районе Камчатского края. Результаты проведенной работы говорят о необходимости дальнейшего изучения гидротермопроявлений, комплексного изучения бальнеологических компонентов и их влияния на экологию.

Ключевые слова: радон, скважина, гидротермальный источник, бальнеология, курортно-санаторный комплекс, Эссовское, Анавайское и Быстринское месторождения, Быстринский район, Камчатский край

DOI: 10.31857/S0869780925020024 EDN: EPHZTS

ВВЕДЕНИЕ

По некоторым оценкам 80% (около 160 источников) лечебных термальных и минеральных вод России находятся на Камчатском полуострове. На сегодняшний день основная санаторно-курортная зона Камчатского края развивается в непосредственной близости (до 100 км) от г. Петропавловск-Камчатский и г. Елизово и испытывает большую антропогенную нагрузку, например, в долине р. Паратунка, где находятся десятки баз отдыха, санатории и профилактории, Начинский санаторий на базе одноименного место-

рождения геотермальных вод, а также “Озерки” на Кеткинском месторождении и др. [11].

Вместе с тем многие термоминеральные источники, обладающие уникальными бальнеологическими свойствами, расположены именно в экологически чистых отдаленных районах Камчатского полуострова и пока недостаточно изучены. Один из таких районов, обладающий большим рекреационным потенциалом, — Быстринский муниципальный район [22].

Природно-климатические условия Камчатки относительно благоприятные, особенно в цен-

тральной части Камчатского полуострова, где преобладает континентальный климат. С этой позиции, Быстринский район Камчатского края обладает несомненными преимуществами для развития санаторно-курортных объектов. К ним относятся нетронутая природа, чистый воздух и вода, наличие длительно сохраняющегося снежного покрова (горнолыжные курорты), отсутствие загрязняющих производственных объектов.

На территории Быстринской геотермальной провинции находятся три населенных пункта, где с 1980-х годов разрабатываются гидротермальные месторождения^{1,2}: с. Эссо — административный центр (Эссовское месторождение), с. Анавгай (Анавгайское месторождение) и п. Горный ключ (Быстринское месторождение), расположенные в центре полуострова на расстоянии около 530 км (по трассе) от г. Петропавловск-Камчатский. Также имеется ряд гидротермопроявлений в виде источников (труднодоступных и пока неосвоенных): Опалькинские, Крерукские, Оксинские, Апапельские, Агликичские и др. Схема расположения источников Быстринской геотермальной провинции приведена на рис. 1.

Как правило, исследования термопроявлений данного района были направлены на получение данных о тепловых ресурсах [5] с целью их использования для теплоснабжения. В этом отношении разбуренные геотермальные месторождения Анавгайское, Быстринское и Эссовское, используемые в основном для отопления, изучены достаточно хорошо³, однако этих данных крайне мало, чтобы говорить об экологическом воздействии и бальнеологическом использовании геотермальной воды.

¹ Ерохин М.Н., Манухин Ю.Ф., Мальцева К.И., Воронкова Л.М. Сводный отчет о результатах разведочных работ на Эссовском геотермальном месторождении, проведенных в 1969–1982 г.г. (с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на 03.1982 г.) (в трех томах). Камчатское промышленное управление по использованию глубинного тепла земли, г. Петропавловск-Камчатский, 1982. Т. 1. 316 с. <https://rfgf.ru/catalog/docview.php?did=9362533b595f26b67f6b0b41f8e4f1a4>

² Мальцев В.В., Забарный Г.Н., Махалкин Ю.Л. и др. Сводный отчет о результатах разведочных работ на Анавгайском геотермальном месторождении, проведенных в 1969–1984 г.г. (с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на июнь 1984 г.) (в двух томах), Камчатское управление по использованию глубинного тепла земли, г. Петропавловск-Камчатский, 1987. Т. 1. 258 с. <https://rfgf.ru/catalog/docview.php?did=23d24fb6d280d6dc4b9db695eca027b9&ysclid=m1ugtfc68m812216964>

³ Асаулова Н.П., Ворожейкина Л.А. и др. Отчет о результатах геологоразведочных работ и опытно-промышленной разработке Быстринского геотермального месторождения за период 1970–2008 г.г. п. Термальный, ГУП “Камчатскбургеотермия”. 2008. 202 с. <https://rfgf.ru/catalog/docview.php?did=3e1d988b5f60994d7aeaa9b495659ec3&ysclid=m1t67d68o1496894970>

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ РАЗВЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Климат района, где разведаны геотермальные месторождения, — умеренно-континентальный, характеризуется малоснежной морозной зимой и относительно теплым летом, что связано с удаленностью от Охотского моря и Тихого океана и наличием горных хребтов, защищающих район от ветров. В данном районе сосредоточены многочисленные выходы гидротермальных источников со схожими характеристиками, что позволило ранее отнести эту группу источников к Эссовско-Быстринской гидротермальной системе (ГТС). Общая характеристика Эссовско-Быстринской ГТС была приведена в отчете Ю.Ф. Манухина⁴. Эссовско-Быстринская ГТС — гидрогеологическая структура орогенного происхождения, связана с линейным телескопическим грабеном. До глубины 405 м грабен сложен преимущественно неогеновыми вулканогенными породами. ГТС связана с наложенной тектоногенной системой, имеющей несколько очагов разгрузки. Область циркуляции гидротерм до глубины 250–300 м находится выше уровня моря. Очаги разгрузки — продуктивные участки, тяготеют к II надпойменной террасе левого бережья р. Быстрая. Эссовско-Быстринская гидротермальная провинция характеризуется трещинно-жильным типом коллекторов в пределах межгорного артезианского бассейна долины р. Быстрая и ее притоков (см. рис. 1).

По составу растворенных газов термальные воды вышеперечисленных месторождений относятся к азотным гидротермам, так как газ в основном состоит из азота (по данным отчетов о результатах геологоразведочных работ на месторождениях, см. сноски 1–4), воды относятся к нейтральным и слабощелочным (рН Анавгайского месторождения — 6.9–8.6, Эссовского — до 9.1 и Быстринского — 7.5–8.6). По химическому составу воды этих месторождений сульфатные кальциево-натриевые, близки между собой по составу и минерализации (например, для Быстринского месторождения, имеющего самую большую минерализацию, формула химического состава $M2.3 \frac{SO_4 52 Cl 46}{Na 64 Ca 35}$.

Минерализация вод: Анавгайское — 1.48–1.92 г/дм³; Быстринское — 2.2–2.6 г/дм³, жесткость — 12.0–14.9 мг-экв/дм³; Эссовское месторождение — 0.9–1.0 г/дм³, жесткость — 9.5–13.2 мг-экв/дм³. Для минералогического состава термальных вод характерно высокое содержание кремниевой кислоты (например, Эссовское месторождение — 46.5–72 мг/дм³) и микрокомпонентов,

⁴ Манухин Ю.Ф., Ворожейкина Л.А. Типы промышленных месторождений термоминеральных вод и природного пара вулканических районов Камчатки и геолого-экономические предпосылки их освоения, 1974–77 г.г., п. Термальный. Камчатское ГУ, 1977. 373 с., инв. №364638.

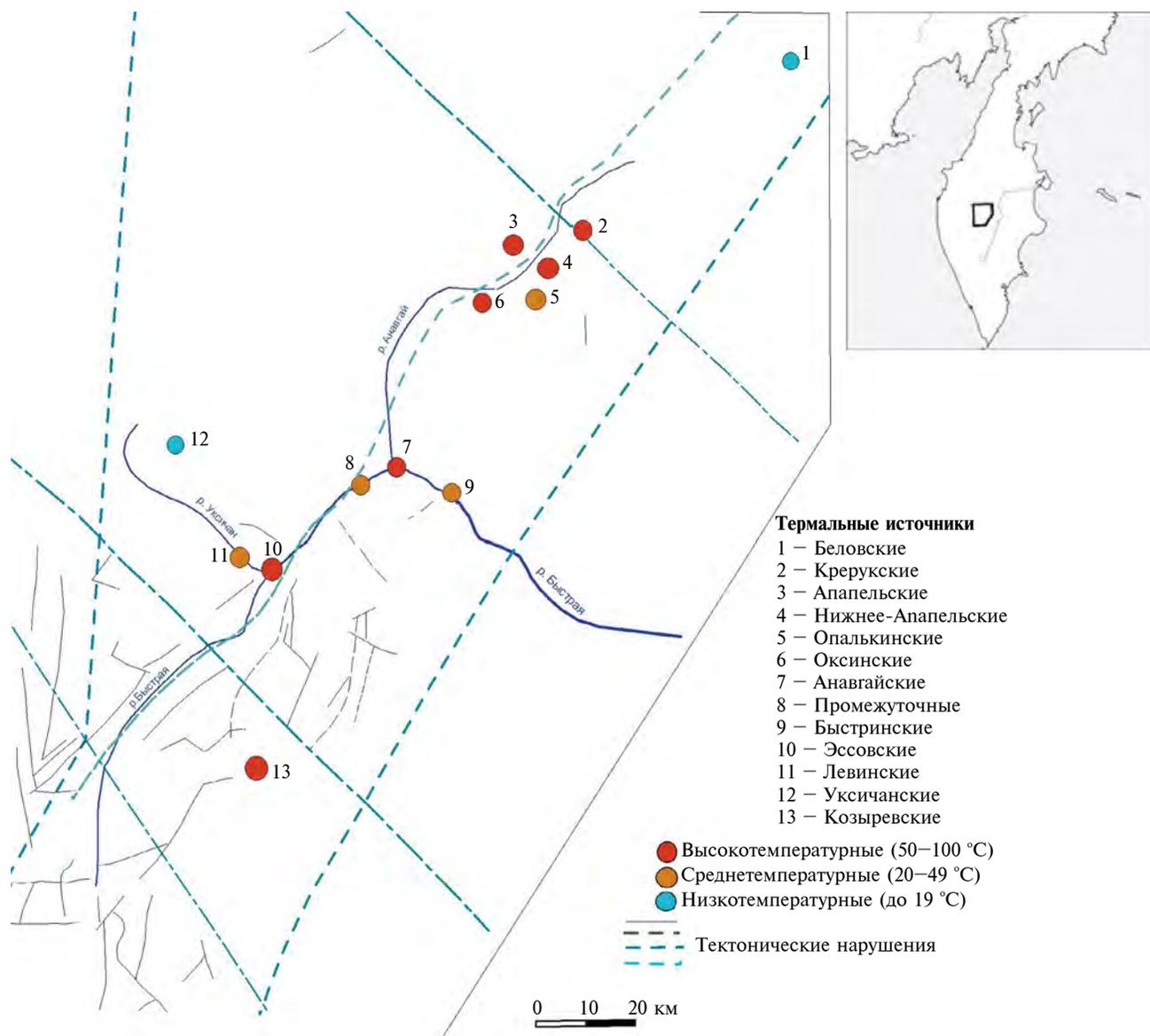


Рис. 1. Схема расположения геотермальных источников Быстринской геотермальной провинции Камчатского края.

[мг/дм³]: фтор (1.2–3.2), литий (0.1–1.7), метаборная кислота (0.8–6.0) и мышьяк (0.05–0.23). Следует отметить, что содержание токсических компонентов мышьяка и метаборной кислоты в термальной воде вышеперечисленных месторождений местами превышает ПДК (0.05 и 0.5 мг/дм³ соответственно), вместе с тем они успешно применяются при лечении различных заболеваний [19, 20].

По температуре воды месторождений относятся к высоко- (Анавгайское — 82°С и Эссовское — 78°С) и среднетемпературным (Быстринское — 48°С).

В составе спонтанного газа месторождений в основном содержится азот, [% об.]: Анавгайское — 95–98, Быстринское — 96.4–99.6 и Эссовское — 95–98.9. Остальные компоненты

представлены в незначительной концентрации, например, в газах Анавгайского месторождения содержатся кислород до 1.53%, метан — 0.04–0.16% и инертные газы: аргон (0.26–1.24%) и гелий (0.0186–0.0350%); сероводорода очень мало (0.03%). В составе газа Эссовского месторождения сероводород не обнаружен, а кислород содержится в значительно меньших количествах — 0.0228–0.0684% об., метан — 0.113–0.144 % об., а инертные газы на уровне Анавгайского месторождения: аргон (1.275–1.527 % об.) и гелий (0.0186–0.0350 % об.). Углекислота и водород в составе свободного газа лишь отмечаются, их содержание не превышает точности определений.

В Отчете Асауловой Н.П., Ворожейкина Л.А. и др. (см. сноску 3) приведены сведения о микрокомпонентах Анавгайского месторождения,

[мг/дм³]: наибольшую концентрацию имел стронций — 1.15–1.83, затем барий 0.16–0.18 и титан 0.08–0.17, в незначительных количествах — молибден, марганец, ванадий, хром, медь, скандий, бериллий, свинец, иттрий, цирконий и серебро, менее 0.01. В рассмотренных отчетах (см. сноски 1–3) не встречается упоминание о наличии радона в пробах газа и воды на месторождениях.

В настоящее время с учетом потребности в санаторно-курортном лечении (в том числе реабилитации военнослужащих), переориентации развития на внутренний туризм создание на территории Быстринского муниципального района Камчатского края санаторно-лечебно-туристского центра особенно актуально. Создание опорных центров санаторно-курортного лечения на базе геотермальных месторождений было предложено еще в Отчете⁴. Одним из преимуществ комплексного использования бальнеологических вод является наличие в рассматриваемом районе необходимых возобновляемых энергетических ресурсов для строительства и эксплуатации перспективных объектов бальнеологии: теплоэнергетических — геотермальные воды, гидроэнергетических — перспективные малые ГЭС на реках Быстрая и Кававля, а также наличие ветровых и солнечных энергоресурсов.

Близким аналогом гидротермальных вод Быстринской геотермальной провинции по ГОСТ считаются питьевые лечебно-столовые воды Угличского типа [7, 21], отличие состоит в повышенных концентрациях мышьяка и бора в некоторых скважинах, поэтому применение вод Быстринской гидротермальной провинции должно быть ограничено лечебным назначением. Согласно заключению Отчета⁵, воды могут использоваться для лечения сердечно-сосудистой, костно-мышечной, нервной систем и кожи.

Цель исследования

Учитывая минерализацию и газовый состав, характерный для вод глубинного происхождения, автор настоящей работы предположил, что в водах и газах геотермальных месторождений Быстринского района может содержаться радон, который имеет глубинное происхождение и поднимается по разломам в земной коре. К одной из важных задач гидрогеологических исследований с позиции экологии и бальнеологии относится по-

иск источников, имеющих концентрацию радона, превышающую 185 Бк/л⁶.

Таким образом, цель предпринятых исследований — обнаружение радона в эксплуатационных скважинах вышеперечисленных месторождений Быстринского района с оценкой его концентрации, воздействия на экологию района и возможности использования в бальнеологии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Литературных источников, посвященных изучению радона в источниках на Камчатке, в целом немного. В одной из первых публикаций А.М. Чиркова [18] описано наличие радона в некоторых выходах высокотермальных вод на Камчатке, в которых радон в спонтанных газах содержится в сотнях эман (Е). Приведены данные исследований следующих источников: Узонские (30–94°C) — 1000 Е (3710 Бк/л); Паужетские (47–100°C) — 650 Е (2412 Бк/л); Большие Банные (40–98°C) — 650 Е (2412 Бк/л); Киреунские (63–98°C) — 485 Е (1799 Бк/л); Кошелевские (35–90°C) — 180 Е (668 Бк/л); Начинские (75–80°C) — 80 Е (297 Бк/л); Налачевские (68–70°C) — 8 Е (30 Бк/л). Для сравнения, например, в подземных водах Байкальского региона концентрация радона варьирует от 0 до 4862 Бк/л [17]. В работе [2] приведены результаты исследований радиоактивных элементов в твердых вулканитах и газах из вулканов и гидротерм Курил и Камчатки, в том числе радона: в фумарольных газах из кратера вулкана Мутновский объемная активность радона составляла 27500 Бк/м³, на Апапельских источниках приведены данные по содержанию радия (источника радона) в количестве до 0.024% равновесного ²³⁸U, который в форме радиобарита концентрировался на участке оруденения Au–Ag. Изменение содержания радона в газах и водах (выделяющихся из фумарол, скважин или почвенных газов) применяется для прогноза извержений, землетрясений и в других научных и прикладных областях.

Радоновые источники согласно бальнеологической классификации минеральных вод, предложенной В.В. Ивановым и Г.А. Невраевым [4], отнесены к группе VI, а согласно другой классификации [9] — к группе E (воды радоновые). В Отчете Петрова М.А. и др. (см. сноску 5) геотермальные источники Быстринского района: Эссовские, Уксичанские, Анавгайские, Быстринские, отнесены к группе VIIa — кремнисто-азотные источники. Какого-либо упоминания о наличии в них радона не имелось.

⁵ Петров М.А., Кобылинский В.И., Котельникова Т.К. Отчет о результатах специализированных гидрогеологических работ по оценке перспектив Камчатской области на минеральные воды (1987–1991 гг.). ППГЭ. пос. Термальный, 1991. Инв. 5503. <https://www.rfgf.ru/catalog/docview.php?did=79d6767f0bc7138fa021104c4744b25c>

⁶ Беккерель (Бк, Bq) — единица активности нуклида в радиоактивном источнике (в системе СИ один беккерель соответствует одному распаду в секунду для любого радионуклида).

По классификации к радоновым водам отнесены те, в которых содержание радона не менее 50 Е (185.5 Бк/л), для примера, минимальная лечебная норма составляет, [Бк/л]: в Германии — 6885, в Чехии — 1192, в Польше — 375, во Франции — 370, а в Венгрии — 3 [15]. Таким образом, для бальнеологии граница радоновых вод довольно условна, так как необходимая интенсивность воздействия может регулироваться временем контакта с радоном. Например, согласно исследованиям [14], наиболее эффективным для лечения больных коксартрозом и гонартрозом является курс из 12 посещений радонового эманатория длительностью по 60 мин с концентрацией (активностью) радона в воздухе 150 Бк/л и температурой воздуха 35–37°C.

Для курортов бывшего СССР содержание радона в природных водах колеблется от 30–40 Е (111.3–148.4 Бк/л) — Цхалтубо; до 3000 Е (11130 Бк/л) — Джети-Отуз; 5000 Е (6290 Бк/л) — Пятигорск. В Западной Сибири курорт Белокуриха в Алтайском крае (в среднем активность радоновой воды в радонолечебнице санатория “Алтай-Вест” составляет 177 ± 13 Бк/л [1]), в Алтайском крае есть Заельцовские источники (Rn 240 Бк/дм³), в Восточной Сибири в Красноярском крае — Тумнин, в Бурятии — Нилова Пустынь, в Еврейской автономной области — Кульдур и др.

На потенциальную возможность радонопроявлений на геотермальных месторождениях в Быстринском районе указывала карта России, на которой показаны зоны повышенной опасности радона [10]. Согласно этой карте поселки Эссо, Анавгай, Горный ключ (Быстринское месторождение) [22] находятся на границе радоноопасной территории (т.е. радон может как быть, так и отсутствовать). Несмотря на то, что с позиции гидрологии месторождения достаточно хорошо исследованы, какого-либо упоминания о радоне на месторождениях в гидрогеологических отчетах⁷ не имеется.

Существует множество методов определения радона (эманационный, трековый, радиографии, фильтров и т.п. [12]), подробно описанные в [23]. В настоящей работе использовался простой метод измерения радона, вместе с тем имеющий достаточную точность измерения для целей данного исследования [6], основанный на поглощении (адсорбции) радона углем в пробе, размещенной непосредственно на объекте исследований. Измерения на угле проводились с помощью комплекса по бета- и гамма-излучению дочерних продуктов распада радона — ²¹⁴Вi и ²¹⁴Рb. Методика измерения плотности потока радона (ППР) и объемной

активности радона (ОАР) комплекса “Камера-01” подробно описана в [6].

Схемы поселков Быстринского района и расположение эксплуатационных скважин, где были проведены отборы проб на радон, представлены на рис. 2.

Поскольку в верхней части оголовка скважин находится свободное пространство, заполняющееся попутным газом, была предпринята попытка отбора газа в батарею до пяти последовательно соединенных сорбционных колонок (СК-13). Для этого на оголовках эксплуатационных скважин были проведены врезки шаровых кранов ½” для отбора газа. Отбор газа на сорбционные колонки осуществлялся непосредственно с верхней части оголовка скважины (схема отбора приведена на рис. 3).

Общий объем воздуха (газа), прокачиваемого через последовательно соединенные сорбционные колонки, согласно методике НТЦ “НИТОН”, ограничен абсорбционной емкостью активированного угля, которая зависит от марки угля, влажности воздуха и скорости прокачки воздуха через СК-13.

Согласно исследованиям, проведенным в [8], выявлено, что при расходе воздуха менее 0.5–0.6 л/мин практически весь радон поглощается объемом активированного угля абсорбера. Эксперименты по отбору газа с оголовка скважин проводились так, чтобы объемный расход не превышал этих значений (за редким исключением, когда использовались батареи последовательно включенных СК-13).

Вместе с тем, согласно методике НТЦ “НИТОН”, коэффициент проскока $K_{пр}$ радона через СК-13 при условиях и параметрах пробоотбора не превышает 10%. Расход отбираемого газа измерялся с помощью объемного метода через наполнение газом перевернутой емкости, заполненной водой, время фиксировалось секундомером. “Проскок” радона после первой СК-13 улавливался в последующих камерах. По результатам измерений в зависимости от расхода и концентрации практически весь радон задерживался в первых двух (максимум четырех) камерах, таким образом, оставшиеся камеры выполняли роль контрольных. Пересчет суммарной объемной активности радона в пробе газа проводился по формуле:

$$C = 538 \cdot (Ck1 + Ck2 + Ck3 + Ck4 + Ck5) \times \exp(0.00755 \cdot T) / (t_{отб}/60), \quad (1)$$

где $Ck1...5$ — объемная активность радона в угле в последовательных сорбционных камерах; T — время, прошедшее с момента отбора газа на оголовке скважины до обработки результатов, час;

⁷ Барбашинов Г.А., Борисов Н.В. и др. Отчет по результатам гидрогеологической съемки масштаба 1 : 200 000 территории листа О-57-XXXIV, проведенной в 1982–1984 гг. ПГГЭ. пос. Термальный, 1984. <https://rfgf.ru/catalog/docview.php?did=02ce0c8381ec4e225203e41bd734ea43>

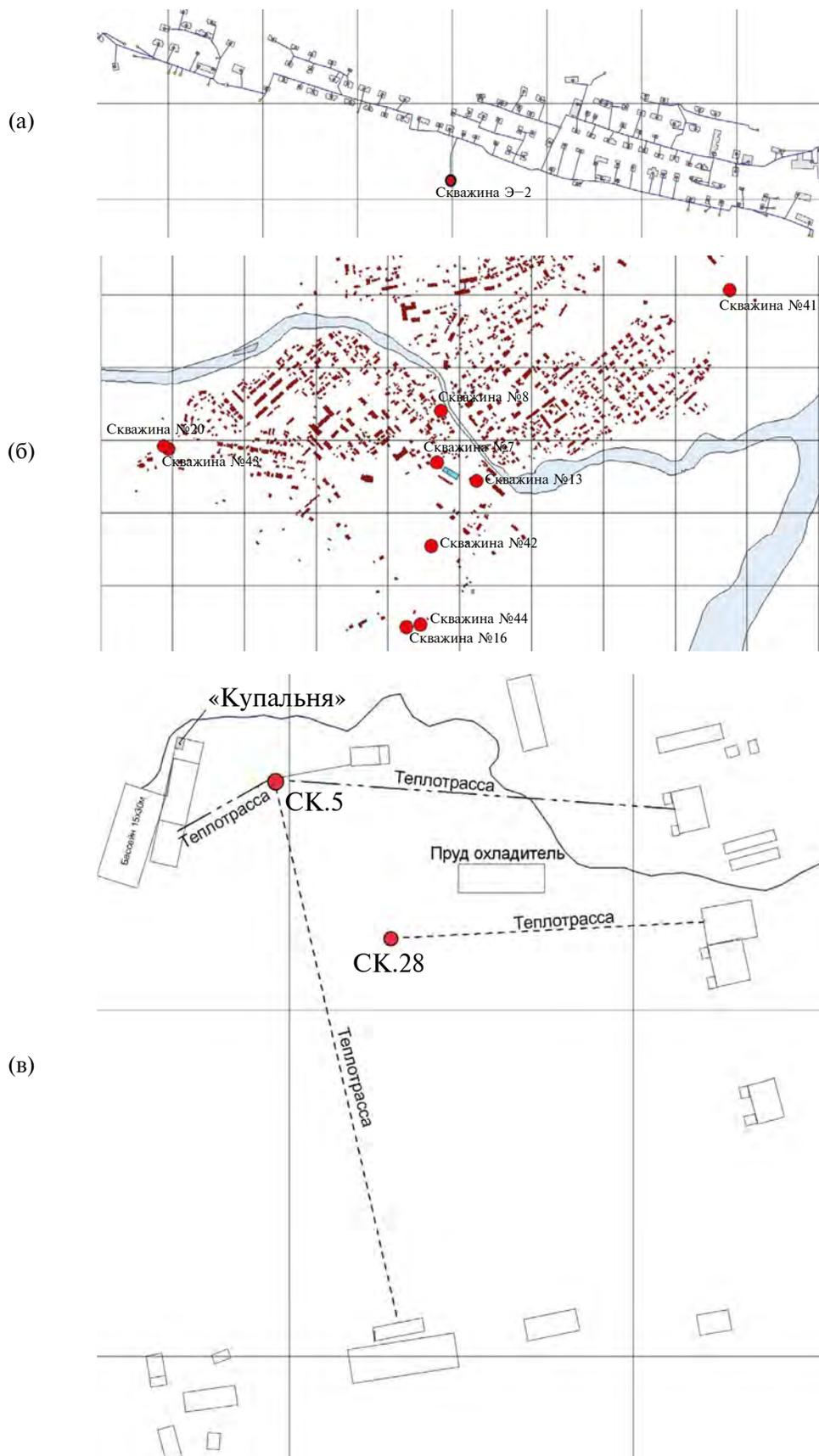


Рис. 2. Схема расположения эксплуатационных скважин на геотермальных месторождениях: а – Анавгайском (с. Анавгай), б – Эссовском (с. Эссо), в – Быстринском (пос. Горный ключ). Шаг сетки – 250 м.

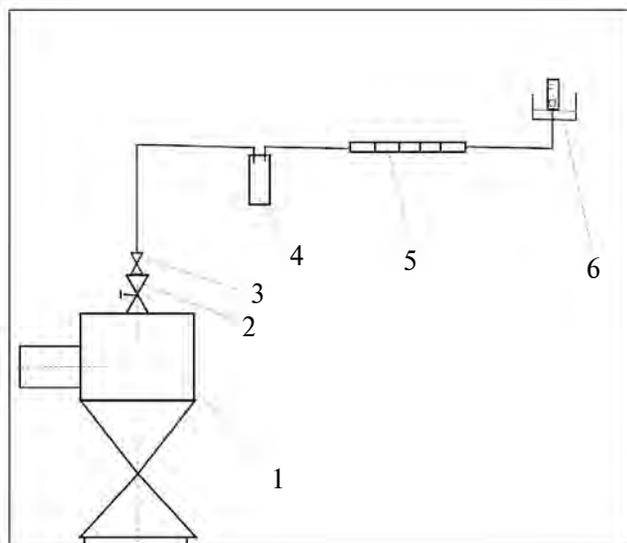


Рис. 3. Схема отбора проб газа с последовательно соединенными СК-13: 1 — оголовок скважины; 2 — шаровый кран отбора; 3 — регулирующий вентиль; 4 — влагоотделитель; 5 — батарея из СК-13; 6 — измеритель расхода газа объемным методом.

$t_{\text{отб}}$ — время отбора газа, с; 0.00755 — постоянная распада радона, 1/ч.

В лабораторных условиях измерения активности радона, абсорбированного в угле, для каждой СК-13 выполнялись по методике [6] на измерительных каналах комплекса “Камера 01”.

Время отбора проб на оголовке скважин составляло от 16 до 73 с. Максимальное время измерения на комплексе, согласно методике, выбиралось в процессе обработки данных программой “Радон98” до момента, при котором значения и погрешность расчетов практически не изменялись во времени.

Суммарная объемная активность радона в газе определялась по формуле методики [13] с учетом временного фактора:

$$Q = A \cdot \exp(0.0075 \cdot T_{\text{п}}) / (G \cdot t(1 - K_{\text{пр}})), \quad (2)$$

где A — суммарная активность радона в камере на угле по окончании отбора проб, Бк; $T_{\text{п}}$ — время, прошедшее с окончания взятия пробы до проведения измерений на комплексе, ч; G — объемный средний расход газа, м³/с; 0.00755 — постоянная распада радона, 1/ч; t — время отбора пробы газа на СК-13, с; $K_{\text{пр}}$ — коэффициент проскока (согласно [6] принимался равным 0.1).

Предварительно на месторождениях проводились замеры фоновой радиации дозиметром QUANTUM/006-02497. Непосредственно рядом с местами пробоотбора измерения показали не-

высокий, естественный, характерный для данной местности фоновый уровень радиации — 13–18 мкР/ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку информации в литературных источниках по плотности потока радона на геотермальных месторождениях Быстринского района не обнаружено, были проведены предварительные замеры ППР и объемной активности радона в подвалах некоторых частных домов и гаражей с. Эссо, около скважин Э-2 Анавгайского и Быстринского месторождения (п. Горный ключ). Места установок НК-32 для оценки значений ППР выбирались в непосредственной близости от скважин, но за пределами площади бетонирования оголовка (~1 м), а также в расстоянии 100–250 м от скважин, чтобы исключить возможное влияние предполагаемых потоков радона вблизи скважин.

В некоторых местах на месторождениях были обнаружены достаточно высокие значения ППР, превышающие норму (допустимый уровень ППР с поверхности грунта на участках строительства зданий производственного назначения составляет 250 мБк/(м²·с), а для жилых зданий — 80 мБк/(м²·с)) (ОСПОРБ-99/2010). В других местах на месторождениях показания ППР соответствовали очень низким уровням 0–7 мБк/(м²·с), например, около скв. Э-2 ППР — 7 мБк/(м²·с), возле скв. 5 Быстринского месторождения ППР — 5 мБк/(м²·с) (см. рис. 2а, в). Все это говорит о неравномерности распределения радона на месторождениях.

Кроме того, измерялась ОАР в некоторых подвалах зданий. В одном из подвалов с. Эссо ее максимальные значения достигали 200–416 Бк/м³.

В дальнейшем необходимо проведение более детальной радоновой съемки. В представленном же материале основное внимание уделено экспериментальному обнаружению радона в попутных газах на оголовках действующих эксплуатационных скважин Анавгайского, Быстринского и Эссовского месторождений.

С учетом того, что химический состав воды на каждом месторождении относительно однороден, пробы термальной воды были отобраны выборочно с одной из скважин каждого месторождения (результаты приведены в табл. 1 и 2).

Количественное содержание химических элементов определяли с помощью эмиссионного спектрометра параллельного действия с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000 (“Shimadzu”, Япония), Методика М-02-1109-08 “Определение металлов в питьевой, минеральной, природной, сточной воде и в атмосферных осадках методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой с помощью спектрометра ICPE-9000”.

Таблица 1. Химический состав термальной воды на эксплуатационных скважинах геотермальных месторождений: Анавайское, Быстринское, Эссовское

Компоненты	Методика выполнения измерений	№ пробы Заказчика	Анавайское, скв. Э-2		Быстринское, скв. 28		Эссовское, скв. 44			
			09.02.2024 13:00	09.02.2024 14:00	09.02.2024 14:00	08.02.2024 9:50				
	№ пробы лаборат.	ГХ-253		ГХ-254		ГХ-255				
		(С±Δ) мг/дм ³	ммоль-экв./дм ³	%-ммоль-экв.	(С±Δ) мг/дм ³	ммоль-экв./дм ³	%-ммоль-экв.	(С±Δ) мг/дм ³	ммоль-экв./дм ³	%-ммоль-экв.
pH	ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97	—	8.44±0.02	—	8.56±0.02	—	8.78±0.02	—	—	—
Fe ³⁺ **	М-02-1109-08	0.01	<0.01	—	<0.01	—	0.064±0.015	0.003	0.02	0.02
Li ⁺ **	М-02-1109-08	0.005	0.12±0.01	0.017	0.17±0.02	0.024	0.10±0.01	0.014	0.09	0.09
K ⁺	М-03-505-119-03	0.5	5.11±0.82	0.131	2.78±0.44	0.071	4.17±0.67	0.107	0.74	0.74
Ca ²⁺	ПНД Ф 14.1:2.95-97	1	255±18	12.725	247±18	12.325	110±8	5.49	37.77	37.77
Mg ²⁺ **	М-02-1109-08	0.01	<0.01	—	0.10±0.01	0.008	<0.01	—	—	—
Na ⁺	М-03-505-119-03	0.5	291±49	12.658	478±81	20.792	205±35	8.917	61.34	61.34
NH ₄ ⁺	ПНД Ф 14.1:2.1-95	0.05	0.09±0.02	0.005	0.08±0.02	0.004	<0.05	—	—	—
Sr ²⁺ **	М-02-1109-08	0.1	0.83±0.09	0.019	0.40±0.05	0.009	0.27±0.03	0.006	0.04	0.04
Σкатионов			552.15	25.555	100	728.53	319.6	14.537	100	100
Cl ⁻	ПНД Ф 14.1:2.96-97	1	156±11	4.401	540±38	15.233	60.3±4.2	1.701	11.45	11.45
HCO ₃ ⁻	РД 52.24.493-2020	10	10.9±2.4	0.179	22.7±2.4	0.372	11.7±2.4	0.192	1.29	1.29
CO ₃ ²⁻	РД 52.24.493-2020	0.1	0.33±0.04	0.011	0.93±0.11	0.031	0.74±0.09	0.025	0.17	0.17
H ₂ BO ₃ ⁻	РД 52.24.389-2011	0.57	2.64±0.11	0.043	13.8±1.1	0.226	1.49±0.12	0.024	0.16	0.16
H ₃ SiO ₄ ⁻	РД 52.24.432-2018	0.1	5.0±0.28	0.053	2.50±0.16	0.026	9.0±0.46	0.095	0.64	0.64
SO ₄ ²⁻	ГОСТ 23268.4-78	1	980±78	20.4	845±68	17.6	615±49	12.8	86.16	86.16
NO ₂ ⁻	ПНД Ф 14.1:2.3-95	0.02	<0.02	—	<0.02	—	<0.02	—	—	—
NO ₃ ⁻	ПНД Ф 14.1:2.4-95	0.02	0.55±0.10	0.009	0.65±0.12	0.01	1.20±0.22	0.019	0.13	0.13
PO ₄ ²⁻	ПНД Ф 14.1:2.112-97	0.05	<0.05	—	0.24±0.04	0.008	<0.05	—	—	—
Σанионов			1155.42	25.096	100	1425.82	699.43	14.856	100	100
H ₃ BO ₃	РД 52.24.389-2011	0.57	10.6±0.8		48.8±3.9		3.31±0.26			
H ₄ SiO ₄ раств.	РД 52.24.432-2018	0.1	95.0±4.3		47.2±2.2		104±5			
Минерализация			1813		2250		1126			
Электропроводность, мкСм/см	РД 52.24.495-2005	4	2744±165		3960±238		1411±85			

* Определения выполнены на спектрометре атомно-эмиссионном с индуктивно-связанной плазмой IСРЕ-9000 (протокол № 250 от 19.02.2024 г.) Лаборатория НИИГТЦ ДВО РАН.

Таблица 2. Микрокомпонентный состав воды месторождений Быстринской гидротермальной системы*

Элемент, мг/л	Месторождение, скважина, дата, время		
	Анавгайское, скв. Э-2, 09.02.24, 13:00	Быстринское скв. 28, 09.02.24, 14:00	Эссовское скв. 44, 08.02.24, 09:50
	ГХ-253	ГХ-254	ГХ-255
Al	<0.01	<0.01	<0.01
As	<0.05	0.28±0.04	<0.05
B	1.98±0.42	7.97±1.67	0.86±0.18
Ba	<0.01	<0.01	<0.01
Co	<0.01	<0.01	<0.01
Cr	<0.01	<0.01	<0.01
Cu	<0.01	<0.01	<0.01
Fe	<0.01	<0.01	0.064±0.015
Li	0.12±0.01	0.17±0.02	0.1±0.01
Mg	<0.01	0.1±0.01	<0.01
Mn	<0.01	<0.01	<0.01
Mo	0.013±0.003	0.017±0.004	0.012±0.003
Ni	<0.01	<0.01	<0.01
Pb	<0.01	<0.01	<0.01
Sb	<0.01	<0.01	<0.01
Sr	0.83±0.09	0.40±0.05	0.27±0.03
Zn	<0.01	<0.01	<0.01

*К протоколу № 251-253 Методика анализа М-02-1109-08, прибор — ICPE-9000. Погрешность результатов измерений не превышает допустимую. Лаборатория НИГГЦ ДВО РАН.

Содержание калия и натрия определяли с использованием атомно-абсорбционного спектрометра AA-7000 (“Shimadzu”, Япония); кальция, магния, хлорид- и сульфат-ионов — титриметрическим методом; кремниевой кислоты, нитрат- и нитрит-ионов — фотоколориметрически; pH измеряли с использованием pH-метра pH-150МИ (“Измерительная техника”, Россия). Номера методик указаны во второй графе протокола (см. табл. 1). Схема расположения точек измерения плотности потока радона на Быстринском месторождении показана на рис. 4.

Предварительные измерения ППР на Быстринском месторождении (см. рис. 2в) подтвердили предположение о наличии устойчивого потока радона, максимальное значение было установлено

в крытом бассейне — “купальне”⁸. Накопительные камеры НК-32 № 129, 138 размещались в “купальне” и устанавливались на специальный поплавок, который свободно плавал по поверхности воды. Измерения проводились также и в других местах месторождения с поверхности почвы, в том числе возле скважин, где ППР была незначительной. Результаты измерений ППР на Быстринском месторождении и координаты точек отбора приведены в табл. 3.

⁸ Крытая “купальня” — железобетонный короб, глубина источника 0.7 м (размеры водной поверхности, огражденной коробом 1.97 × 3.57 м), со дна источника выходят струи горячей воды, содержащие небольшое количество газа. Измерения температуры термальной воды на глубине 0.15 м от поверхности дна показали значения 45.9–46.2°C. Измерения температуры были произведены термометром Testo 925 Testo AG Germany 0560.9250/с зондом.



Рис. 4. Схема расположения точек измерения ППР на Быстринском месторождении (номер соответствует номеру камеры СК-13 в табл. 2). Темный прямоугольник слева — термальный бассейн.

На втором этапе исследований проводились замеры ОАР в попутном газе на оголовках скважин. Отбор проб газа производился с верхней части оголовков всех эксплуатационных скважин Эссовского (скв. 7, 8, 13, 16, 20, 41–44), Анавгайского (скв. Э-2) и Быстринского месторождений (скв. 5, 28) (см. рис. 2). Исследовались только эксплуатационные скважины, работающие в режиме самоизлива. Обработка результатов показала наличие радона в попутных газах во всех опробованных скважинах. К сожалению, не удалось провести отбор газа на скв. 16, 41, 44 Эссовского месторождения и скв. 5 Быстринского месторождения из-за отсутствия газовой фазы на их оголовках, что связано, по-видимому, с конструктивными особенностями этих скважин и, возможно, с режимом эксплуатации.

Результаты измерений активности радона по Анавгайской скв. Э-2, и Быстринской скв. 28 приведены в табл. 4. Расход газа составлял 2 л/мин, время отбора — 60 с. Измерения проводились 09.02.2024 г. Данные, приведенные в табл. 4, подтверждают выводы работы [8], при выбранных условиях эксперимента практически 99% радона улавливаются в первой по ходу газов СК-13.

В табл. 5 и на рис. 5 приведены данные по измерениям активности радона на Эссовском месторождении. Какой-либо зависимости распределения активности радона в эксплуатационных скважинах от химического состава вод, глубины и других условий не обнаружено.

Отметим, что на Камчатке в ксенолитах и вулканических породах относительно малое содержание (ниже кларковых значений) материнского урана ^{238}U , из которого образуется дочерний изотоп радий ^{226}Ra , являющийся источником радона ^{222}Rn . Но вместе с тем в газах источников и фумаролах содержатся достаточно высокие концентрации радона [3, 18], что само по себе необычно. Предполагается, что радон образуется в эманурующем

коллекторе радия, поскольку глубина образования и условия возникновения такого коллектора аналогичны с гидротермальными месторождениями: температура $\sim 150^\circ\text{C}$ и, по оценке [2], глубина, измеряемая сотнями метров. Учитывая, что исследуемые месторождения имеют температуру ниже ($75\text{--}85^\circ\text{C}$), предполагаемая глубина образования эманурирующих коллекторов, по-видимому, может достигать нескольких километров, и, как следствие, значения ОАР ниже зафиксированных в фумарольных газах и высокотемпературных геотермальных источниках Узонских, Паужетских, Больше-Банных, Киреунских и т.п. [18].

Растворимость радона в жидкостях определяется температурой (t) и подчиняется закону Генри, коэффициент растворимости α_p :

$$\alpha_p = 0.106 + 0.405 \exp(-0.05t). \quad (3)$$

При этом α_p зависит также от содержания солей в геотермальной воде, причем с ростом солесодержания коэффициент растворимости уменьшается. Данная закономерность распределения радона отмечена в [14], α_p в основном зависит от химического состава и температуры воды и не зависит от происхождения газовой фазы и давления газа. В соответствии с уравнением (3), при характерной температуре воды на гидротермальных месторождениях Быстринского района большая часть радона должна находиться в попутном газе (на Эссовском месторождении при 75°C коэффициент растворимости радона в воде должен составлять 0.116, на Анавгайском при 82°C — 0.113, на Быстринском при 46°C — 0.15. Таким образом, следует ожидать значение ОАР, растворенного в термальной воде скважин, незначительным, что при использовании попутного газа позволит, предположительно, отнести данные гидротермальные месторождения к группе вод очень слаборадонные ($185\text{--}750$ Бк/л) по классификации [7].

Таблица 3. Результаты измерения плотности потока радона с поверхности грунта на участке около “купальни” Быстринского геотермального месторождения (пос. Горный ключ)

Дата и время измерения	Место пробобора	Пробобор, дата, время		Результаты измерения		Основание	Координаты точки отбора	Номер измеренной пробы
		начало	окончание	мБк/(м ² ·с)	погр.			
17.11.2022 17:00	В 1 м от “Купальни”	17.11.2022 12:42	17.11.2022 13:42	24	15	Песок	56°1'26.86" с.ш. 159°5'19.22" в.д.	№166
17.11.2022 18:00	“Купальня”	17.11.2022 13:04	17.11.2022 14:04	21	15	Поверхность воды	56°1'26.75" с.ш. 159°5'19.33" в.д.	№138
17.11.2022 19:00	“Купальня”	17.11.2022 13:04	17.11.2022 14:04	201	34	Поверхность воды	56°1'26.75" с.ш. 159°5'19.42" в.д.	№129
17.11.2022 18:00	“Беседка”	17.11.2022 13:14	17.11.2022 14:14	0	14	Сулея	56°1'26.78" с.ш. 159°5'21.16" в.д.	№167
17.11.2022 20:00	В 1 м от скв. №5	17.11.2022 12:45	17.11.2022 13:45	5	14	Грунт, сулея	56°1'25.94" с.ш. 159°5'20.15" в.д.	№116
17.11.2022 20:00	Около д. 1	17.11.2022 13:05	17.11.2022 14:05	0	15	Сулея	56°1'27.43" с.ш. 159°5'23.28" в.д.	№199
17.11.2022 20:00	Около д. 3	17.11.2022 13:12	17.11.2022 14:12	1	7	Грунт, сулея	56°1'27.63" с.ш. 159°5'22.96" в.д.	№149
17.11.2022 20:00	Около д. 2	17.11.2022 13:09	17.11.2022 14:09	0	14	Сулея	56°1'26.16" с.ш. 159°5'24.27" в.д.	№186

Таблица 4. Результаты измерения активности радона в пробах угля сорбционных камер в скв. Э-2 Анавгайского и скв. 28 Быстринского геотермальных месторождений

Скважина/номер СК по ходу газа	Активность радона в угле		Объемная активность радона в попутном газе на оголовке скважины	
	Бк	погр.	Бк/м ³	погр.
Э-2/1	99.667	0.471	54 800	8 200
Э-2/2	0.701	0.104	386	120
Э-2/3	0.192	0.129	105	140
Э-2/4	0	0.191	0	210
Э-2/5	0	0.197	0	210
28/1	33.332	0.297	18 300	2 700
28/2	0	0.139	0	150
28/3	0	0.14	0	150
28/4	0.121	0.12	67	130
28/5	0.171	0.138	94	150

Таблица 5. Результаты измерения активности радона в пробах угля сорбционных камер (СК) в скважинах Эс-совского геотермального месторождения

Скважина/номер СК по ходу газа	Продолжительность отбора газа, с	Объем прокаченного газа, л	Активность радона в угле		ОАР в газе на оголовке скважины
			Бк	погр.	Бк/м ³
20/1	73	0.023	19.554	0.222	951 749
43/1	27	0.35	21.214	0.188	68 364
43/2	27	0.35	2.077	0.298	6 643
7/1	41	0.25	213.72	1.733	964 222
7/2	41	0.25	19.115	0.372	86 239
7/3	41	0.25	0.434	0.285	1 958
7/4	41	0.25	0	0.294	0
13/1	45	0.04	23.905	0.211	669 027
13/2	45	0.04	0.06	0.117	1 705
13/3	45	0.04	0	0.395	0
42/1	40	0.3	128.71	0.582	483 908
42/2	40	0.3	29.058	0.258	109 249
42/3	40	0.3	2.274	0.121	8550
42/4	40	0.3	0	0.108	0
8/1	16	0.3	22.575	0.405	85 514
8/2	16	0.3	6.927	0.209	26 239

Примечание: на каждой скважине использовалось по 5 последовательно соединенных сорбционных колонок, колонки, где активность радона не обнаружена — в таблице не приведены.

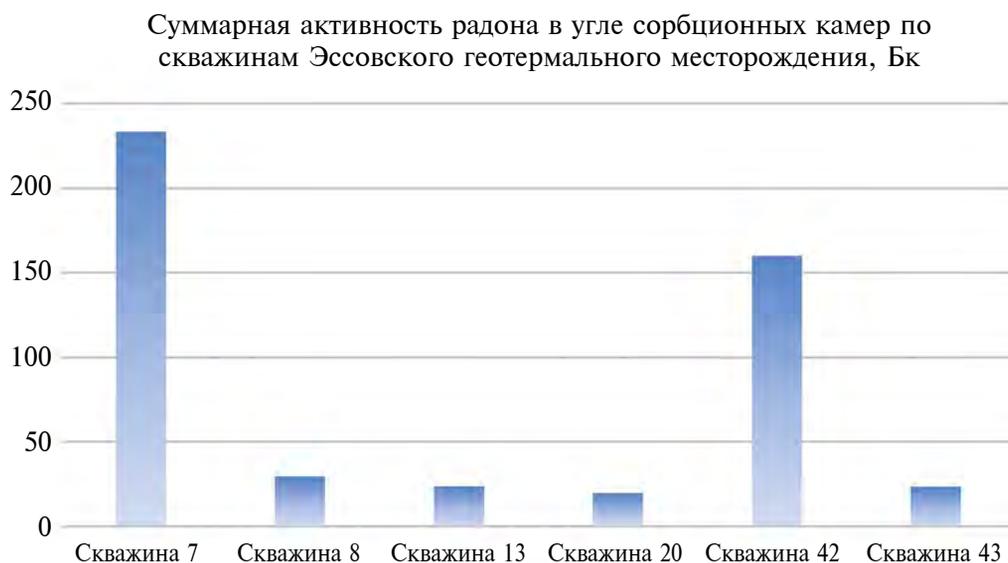


Рис. 5. Активность радона в угле сорбционных камер (СК-13 измерительного комплекса “Камера 01”) по скважинам Эссовского геотермального месторождения.

Наличие радона в скважинах гидротермальных месторождений Быстринского района открывает большие перспективы развития курортной базы в данном регионе. Радон при наружном контакте с кожей человека оказывает сильный бальнеологический эффект, даже если концентрация его незначительна. Радон имеет малый период полураспада (3.82 сут), вследствие чего относительно быстро выводится из организма (период полувыведения ~0.5 ч). Альфа-излучение в небольших дозах стимулирует процессы регенерации в клетках и органах человека [16]. Радонотерапия способствует лечению суставов, переломов и прочих травм. Воспалительные процессы подавляются, болевые ощущения снижаются, увеличивается подвижность суставов [14]; радон способствует восстановлению хрящевой ткани, тогда как многие лекарства производят противоположный эффект. Лечение радоном рекомендовано страдающим остеопорозом, так как при этом активизируется обмен кальция в костной ткани. Немаловажно, что радоновые процедуры обладают относительно длительным воздействием, так как стимулируют иммунную систему, а медикаментозные препараты обладают кратковременным эффектом.

Следует отметить, что бальнеологическое влияние на организм определяет не только концентрация радона, а и совокупные факторы: температура воды, химический состав (см. табл. 1, 2), наличие других газов и т.п. Для месторождений Быстринского района требуется дальнейшее детальное исследование влияния на организм человека элементного состава геотермального флюида в сочетании с радоном.

В то же время радон обладает канцерогенным эффектом, поэтому необходимо более глубокое изучение распределения радона на Эссовском, Анавгайском и Быстринском месторождениях с целью выявления мест с ППР, превышающей нормативные значения для участков строящихся общественных и жилых зданий (80 мБк/м²с) и производственных зданий (250 мБк/м²с), а при превышении данных значений при строительстве (в том числе и курортной инфраструктуры) необходимо проведение радонозащитных мероприятий.

Поскольку в системы отопления домов с. Эссо, с. Анавгай и пос. Горный ключ подается непосредственно геотермальная вода, часть радона (помимо поступления из почвы в подвалы домов) поступает по трубопроводам в дома, что также требует проведения отдельного мониторинга, комплексной оценки потоков радона и разработки (при необходимости) защитных мероприятий.

Теоретически, исходя из закона Генри (3), следует ожидать низкую концентрацию радона в геотермальной воде. Из-за отсутствия прибора для измерения радона в воде не проводились натурные исследования содержания радона непосредственно в жидкой фазе, это перспективное направление дальнейших исследований.

Кроме того, мониторинг радона в скважинах геотермальных месторождений открывает перспективы отслеживания изменений его концентрации для прогноза извержений вулканов и землетрясений.

ВЫВОДЫ

Изучение экологии геотермальной провинции Быстринского района Камчатского края выявило наличие радона в попутном газе большей части эксплуатационных скважин на гидротермальных месторождениях Эссовское, Анавгайское, Быстринское. Измерения активности радона проводились с помощью комплекса “КАМЕРА-01. Измеренная активность радона на угле сорбционной колонки (от 0.06 до 233 Бк). Какой-либо закономерности влияния различных факторов на проявления радона в скважинах пока не установлено.

В результате исследований сделан предварительный вывод, что геотермальные месторождения Быстринской гидротермальной системы можно отнести к источникам группы VI (радоновые) по классификации [11] (очень слаборадонные).

Результаты выполненных исследований показывают необходимость дальнейшего целенаправленного изучения месторождений и разработки рекомендаций для снижения экологического воздействия на экосистему и открывают перспективы создания курортно-санаторных комплексов в Быстринском районе Камчатского края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Азаев Ю.Л.* Радиационно-гигиеническая обстановка в предгорьях Алтая и ее оптимизация на курорте Белокуриха: дис. ... канд. мед. наук, Кемерово, 1997. 130 с.
2. *Андреев В.И.* Распределение естественных радиоактивных элементов в твердых вулканиках и радиогенных газах из вулканов и гидротерм Камчатки и Курил. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2013. 158 с.
3. *Вакин Е.А., Пилипенко Г.Ф.* Каталог термальных источников (с дополнениями Манухина Ю.Ф. и Кирюхина А.В.). <https://sites.google.com/site/geobelousov/geothermalnaa-karta> (дата обращения: 23.05.2023)
4. *Иванов В.В., Невраев Г.А.* Классификация подземных минеральных вод. М.: Недра, 1964. 168 с.
5. *Кирюхин А.В., Сугробов В.М.* Геотермальные ресурсы Камчатки и ближайшие перспективы их освоения // Вулканология и сейсмология. 2019. № 6. С. 50–65. doi: 10.31857/S0203-03062019650-65
6. Комплекс измерительный для мониторинга радона “Камера-01”. Руководство по эксплуатации. М.: НТЦ “Нитон”, 2003. 24 с.
7. *Куликов Г.В., Жевлаков А.В., Бондаренко С.С.* Минеральные лечебные воды СССР: Справочник. М.: Недра, 1991. 399 с.
8. *Кургуз С.А.* Аппаратная адаптация методики НТЦ “Нитон” к решению задачи “экспрессной” оценки величины плотности потока радона с поверхности грунта // Молодежь и наука: Сб. матер. VIII Всерос. научно-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посв. 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. [Электронный ресурс]. <https://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section04.html>
9. *Лодис Ф.А., Семенов В.И.* Камчатка — край лечебный. Петропавловск-Камчатский: Дальневост. кн. изд-во, Камч. Отд., 1993. <http://www.kscnet.ru/ivs/publication/semenov/index.html> (дата обращения: 23.05.2023)
10. *Максимовский В.А., Решетов В.В., Харламов М.Г.* Карта радоноопасности России. Масштаб 1:10 000 000 / Под ред. Смылова А.А. М., СПб.: СПбГГИ, 1995. <https://u.9111s.ru/uploads/202302/04/d2d4d680bd5c18b68e8dd635c5351767.png> (дата обращения: 23.05.2023).
11. *Манухин Ю.Ф., Петров М.А.* Ресурсная база санаторно-курортного строительства в Камчатском Крае // Матер. Всерос. науч. конф. 22–27 сентября 2008 г. “100-летие Камчатской экспедиции Русского географического общества 1908–1910 гг.”. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. С. 190–198.
12. *Микляев П.С.* Научные основы оценки потенциальной радоноопасности платформенных территорий: дисс. ... док. геол.-мин. наук. М.: ИГЭ РАН, 2015. 307 с. <https://studfile.net/preview/5289086/page:2/>
13. Объемная активность радионуклидов в воздухе на рабочих местах. Требования к определению среднегодовой объемной активности. Методические указания МУ 2.6.5.009-2016. М.: Официальное издание, 2016.
14. *Панов С.В.* Комплексное лечение больных коксартрозом и гонартрозом с применением радонового эманатора: автореф. дисс. ... канд. мед. наук. Ульяновск: УГУ, 2011. 20 с.
15. Радон, радонотерапия, радоновые источники, радоновые ванны, радоновые орошения. <http://sankurtur.ru/methods/376/> (дата обращения: 23.05.2023)
16. *Самосюк И.З., Федоров С.Н., Думин П.В.* Радоно-терапия: проблемы и перспективы // Укр. мед. часопис. 2000. № 2. С. 119–123.
17. *Семинский А.К.* Радон в обводненных разломных зонах Байкальского рифта: дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск, 2018. 170 с.
18. *Чирков А.М.* О радоновых водах на Камчатке // Вопросы географии Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1970. Вып. 6. С. 173.
19. https://бмэ.орг/index.php/МЫШЬЯКОВИСТЫЕ_ВОДЫ (дата обращения: 13.05.2023)
20. <https://cyberleninka.ru/article/n/preparaty-bora-v-psihiatrii-i-nevrologii-ih-vzlyot-padenie-i-vozobnovlenie-interesa> (дата обращения: 13.05.2023)
21. <https://svyato.info/14333-bystrinskie-termomineralnye-istochniki-u-sela-anavgay.html> (дата обращения: 23.05.2023).
22. http://www.sgan2009.ru/Ictochniki_Kamchatki/47_km_1/47_km_1.html (дата обращения: 23.05.2023)
23. <http://profbeckman.narod.ru/rad.files/Rad3SS.pdf> (дата обращения: 23.05.2023)

ASSESSMENT OF RADON MANIFESTATION AT HYDROTHERMAL DEPOSITS OF THE BYSTRINSKY DISTRICT, KAMCHATKA

V. A. Kudryashov

*Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
Severo-Vostochnoe shosse 30, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002, Russia*

E-mail: vladimirkudryasho@yandex.ru

The Kamchatka area has significant hydrothermal resources — according to some estimates, up to 80% of the total mineral water in Russia. The main thermal mineral resources have been developed near the regional center of Petropavlovsk-Kamchatsky. At the same time, many hydrothermal resources located at a considerable distance from the regional center in ecologically clean areas are insufficiently studied. One of these areas is Bystrinsky district, located in the center of Kamchatka, where three hydrothermal fields have been explored and used for heating needs, i.e., Anavgayskoye (82°C), Bystrinsky (48°C), Essovskoye (78°C). According to the chemical composition of water in these field, calcium-sodium sulfate waters are similar in composition and mineralization (1.0-2.6 g/dm³). The purpose of the study was to search for radon in these fields. Information about the presence of radon in these fields was not previously found in publications. A preliminary assessment of the radon presence in the associated gas in the wells of Anavgaysky, Bystrinsky and Essovsky geothermal fields was carried out using the measuring complex “CAMERA-01” (NTC “Niton”) for monitoring radon. Sampling was carried out on coal sorption columns directly on the heads of production wells. The sampling time, the number of columns and the gas flow rate from the top of the wellhead were selected taking into account the maximum radon capture. As a result of measurements in the associated gas of production wells of geothermal fields, significant concentrations of radon were found somewhere. The measured radon activity at the coal of the “CAMERA-01” complex ranged from 0.4 to 233 Bq. The analysis of the micro-component composition (device — ICPE-9000 laboratory of the RGTC FEB RAS) showed an increased content of boron — 7.97 mg/l, strontium — 0.83 mg/l and molybdenum — 0.017 mg/l in the deposits. No dependence of radon activity in production wells on the chemical composition, depth of wells, etc., was found in the fields. The presence of radon in the wells of hydrothermal fields opens up prospects for the development of resort and sanatorium complexes in the Bystrinsky district, Kamchatka, Russia.

Keywords: *radon, well, hydrothermal spring, balneology, spa and sanatorium complex, Essovskoye, Anavgayskoye and Bystrinsky deposits, Bystrinsky district, Kamchatka*

REFERENCES

1. Azaev, Yu.L. [Radiation-hygienic situation in the foothills of the Altai and its optimization in the resort of Belokurikha]. Cand. Sci. (Medical) Dis., Kemerovo, 1997, 130 p. (in Russian)
2. Andreev, V.I. [Distribution of natural radioactive elements in solid volcanites and radiogenic gases from volcanoes and hydrotherms of Kamchatka and the Kuriles]. Petropavlovsk-Kamchatsky, Vitus Bering KamSU, 2013, 158 p. (in Russian)
3. Vakin, E.A., Pilipenko, G.F. [Catalog of thermal springs (with additions by Manukhin Yu.F. and Kiryukhin A.V.)]. <https://sites.google.com/site/geobelousov/geothermalnaa-karta> (accessed 05.23.2023) (in Russian)
4. Ivanov, V.V., Nevraev, G.A. [Classification of underground mineral waters]. Moscow, Nedra Publ., 1964, 168 p. (in Russian)
5. Kiryukhin, A.V., Sugrobov, V.M. [Geothermal resources of Kamchatka and the nearest prospects for their development]. *Vulkanologiya i seismologiya*. 2019, no 6, pp. 50–65. DOI: 10.31857/S0203-03062019650-65 (in Russian)
6. [Measuring complex for radon monitoring “Camera-01”]. Operation manual. Moscow, NTC Niton, 2003, 24 p. (in Russian)
7. Kulikov, G.V., Zhevnikov, A.V., Bondarenko, S.S. [Mineral medicinal waters of the USSR]. Guidebook. Moscow, Nedra Publ., 1991, 399 p. (in Russian)
8. [Hardware adaptation of the Niton Scientific Research Center methodology to solving the problem of “express” estimation of the radon flux density from the soil surface]. In: [Youth and Science. Proc. VIII All-Russia Sci. and Techn. Conf. of students, postgraduates and young professionals dedicated to the 155th birthday of K.E. Tsiolkovsky]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2012. (Electronic resource). <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section04.html> (in Russian)
9. Lodis, F.A., Semenov, V.I. [Kamchatka is a therapeutic region.] Petropavlovsk-Kamchatsky, Far Eastern Publishing House, Kamchatka division, 1993. <http://www.kscnet.ru/ivs/publication/semenov/index.html> (accessed: 05/23/2023) (in Russian)
10. Maksimovskii, V.A., Reshetov, V.V., Kharlamov, M.G. [Map of radon hazard in Russia. Scale 1:10 000 000]. Smyslova A.A., Ed. Moscow, St. Petersburg: SPbGGI Publ., 1995. <https://u.9111s.ru/uploads/202302/04/d2d4d680bd5c18b68e8dd635c5351767.png> (accessed 05.23.2023). (in Russian)

11. Manukhin, Yu.F., Petrov, M.A. [Resource base of sanatorium-resort construction in the Kamchatka Territory]. In: [Proc. All-Russia Sci. Conf., Sept. 22–27, 2008 “The 100th anniversary of the Kamchatka expedition of the Russian Geographical Society 1908–1910”]. Petropavlovsk-Kamchatsky, IViS FEB RAS, 2009, pp. 190–198. (in Russian)
12. Miklyaev, P.S. [Scientific foundations for assessing the potential radon hazard of platform territories]: Doctoral Sci. (Geol.-Min.) Diss. Moscow, IEG RAS, 2015, 307 p. <https://studfile.net/preview/5289086/page:2> (in Russian)
13. [Volumetric activity of radionuclides in the air at workplaces. Requirements for determining the average annual volume activity. Methodological guidelines of MU 2.6.5.009-2016]. Moscow, Official publication, 2016. (in Russian)
14. Panov, S.V. [Complex treatment of patients with coxarthrosis and gonarthrosis using radon emanatorium]. Extended Abstract of Cand. Sci. (Mediacal) Diss. UGU, 2011. Ulyanovsk, 20 p. (in Russian)
15. [Radon, radon therapy, radon springs, radon baths, radon irrigation]. <http://sankurtur.ru/methods/376/> (accessed: 05.23.2023) (in Russian)
16. Samosyuk, I.Z., Fedorov, S.N., Dumin, P.V. [Radon therapy: problems and prospects]. *Ukr. Med. chasopis*, 2000, no. 2, pp. 119–123. (in Russian)
17. Seminskii, A.K. [Radon in the watered fault zones of the Baikal rift]. Cand. Sci. (Geol.-Min.) Diss. Irkutsk, 2018 170 p. (in Russian)
18. Chirkov, A.M. [On radon waters in Kamchatka]. *Voprosy geografii Kamchatki*, 1970, no. 6, pp. 173. (in Russian)
19. https://бмэ.орг/index.php/мышьяковистые_воды (accessed 05.23.2023) (in Russian)
20. <https://cyberleninka.ru/article/n/preparaty-bora-v-psihiatrii-i-nevrologii-ih-vzlyot-padenie-i-vozobnovlenie-interesa> (accessed 05.23.2023) (in Russian)
21. <https://svyato.info/14333-bystrinskie-termomineralnye-istochniki-u-sela-anavgay.html> (accessed 05.23.2023). (in Russian)
22. http://www.sgan2009.ru/Ictochniki_Kamchatki/47_km_1/47_km_1.html (accessed 05.23.2023) (in Russian)
23. <http://profbeckman.narod.ru/rad.files/Rad3SS.pdf> (accessed 05.23.2023) (in Russian)