НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 622.831.1:550.8
https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-74-83

SCIENTIFIC ARTICLE
UDC 622.831.1:550.8

Плотность потока радона на Анавгайском геотермальном месторождении Камчатского края

В. А. Кудряшов✉
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук»,
г. Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация
✉ *vladimirkudryasho@yandex.ru*

Резюме. Радон оказывает как негативное, так и благотворное влияние на организм человека, поэтому плотность потоков радона из глубин Земли требует детального изучения. Определение плотности потока позволяет оценить потенциальную радоноопасность в зданиях, а также помогает проводить геологоразведочные работы по естественным радиоактивным элементам: урану, торию, радию. Камчатский полуостров в целом относится к территориям с низким содержанием естественных радиоактивных элементов, однако встречаются локальные места, где поступления радона являются значительными. Это некоторые геотермальные проявления, высокотемпературные фумаролы, гидротермальные источники и вулканы. Одним из таких мест является Анавгайское геотермальное месторождение (расположено практически в центре Камчатского полуострова, в отрогах Срединного хребта, в попутных газах которого не так давно был обнаружен радон. Для оценки экологического влияния поставлена задача определения поступления потоков радона по площади геотермального месторождения. На территории месторождения находится поселок Анавгай, общественные и жилые здания которого отапливаются геотермальной водой, в связи с этим распределение радона влияет на экологическую обстановку. Определение плотности потока радона проводилось с помощью квазиинтегрального метода НТЦ «Нитон» с использованием измерительного комплекса для мониторинга радона «Камера-01». Всего на месторождении было установлено 14 измерительных камер. Измерения показали относительно незначительные плотности потока радона по площади месторождения, равные в среднем 11 ± 5,1 мБк/(м²·с) . Отмечена неравномерность распределения плотности потока радона по площади месторождения от 0 до 35 ± 7 мБк/(м²·с) (около ликвидированной скважины Э-3). Выяснено, что зоны повышенных значений плотности потока радона не связаны напрямую с соответствующими зонами тектонических нарушений, что обусловлено, по-видимому, рассеиванием потоков современными отложениями на поверхности месторождения, являющимися экранами для проникновения радона из недр, или рассеивающими поток. В большей степени повышенные значения плотности потока радона приурочены к скважинам, где в попутных газах определена объемная активность радона, измеряемая десятками тысяч беккерелей.

Ключевые слова: Камчатский край, Срединный хребет, Анавгайское геотермальное месторождение, радон, скважина, плотность потока радона

Благодарности, признательность, финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания НИГТЦ ДВО РАН № 075-00335-26-00, финансируемого Министерством науки и высшего образования РФ.

Для цитирования: Кудряшов В. А. Плотность потока радона на Анавгайском геотермальном месторождении Камчатского края. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (5): 74-83. https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-74-83.

Radon flux density at the Anavgay geothermal, Kamchatka Territory

V. A. Kudryashov✉
FGBUN Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation
✉ *vladimirkudryasho@yandex.ru*

Abstract. Radon has both negative and beneficial effects on the human body, so the density of radon fluxes from the depths of the Earth requires detailed study. Determining the flux density makes it possible to assess the potential radon hazard in buildings, and also helps to carry out geological exploration for natural radioactive elements (NRE) – uranium, thorium, radium. The Kamchatka Peninsula as a whole belongs to the territories with a low content of NRE, however, there are local places where radon emissions are significant. These are some geothermal manifestations, high-temperature fumaroles, hydrothermal vents, and volcanoes. One of these

© Кудряшов В. А., 2026

places is the Anavar geothermal deposit, (located almost in the center of the Kamchatka Peninsula in the foothills of the Sredinny ridge Fig.1a), in the associated gases of which radon was discovered not so long ago. To assess the environmental impact, the task was set to determine the intake of radon fluxes by the area of a geothermal deposit (radon flux density-RFD). There is the village of Anavgay located on the territory of the deposit, the public and residential buildings of which are heated by geothermal water, and therefore, the distribution of radon affects the environmental situation. The purpose of the work was to preliminarily determine the radon flux density (RFD) in the field and to assess the relationship with geological ruptures and man-made disturbances (wells). Field research was conducted in 2025-2026. RFD was determined using the quasi-integral method of the NITON Scientific and Technological Center using the "CAMERA-01" measuring complex for radon monitoring. A total of 14 measuring chambers were installed at the field. The measurements showed relatively insignificant radon flux densities over the deposit area, averaging 11 ± 5.1 MBq/m^{2}s. A significant unevenness in the distribution of the radon flux density over the field area from zero to 35 ± 7 MBq/m^{2}s (near the liquidated well No. E-3) was noted. It was found out that the zones of increased RFD values are not directly related to the corresponding zones of tectonic disturbances, which is probably due to the dispersion of flows by modern deposits on the surface of the deposit, which are screens for radon penetration from the depths, or dissipate the flow. To a greater extent, the increased RFD values are confined to wells where the volume activity of radon measured in tens of thousands of Becquerels is determined in associated gases.

Keywords: Kamchatka Territory, Sredinny ridge, Anavgay geothermal deposit, radon, wells, radon flux density

Acknowledgments, funding, financial support: The work was performed within the framework of the state assignment of the Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences No. 075-00335-26-00, funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation: Kudryashov V.A. Radon flux density at the Anavgay geothermal**,** Kamchatka Territory *Mine Surveying and Subsurface Use.* 2026; 26 (5): 74-83. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-74-83.

Введение

Влияние геологической среды на жизнедеятельность человека является важной частью исследования природных объектов. Одно из многоплановых факторов данного влияния – поступление радона к поверхности Земли. Радон входит в состав радиоактивных рядов распада изотопов урана и тория.

Наиболее распространен изотоп радона ^{222}Rn с периодом полураспада 3,8 суток. Длительность жизни данного изотопа определяет его способность мигрировать на большие расстояния. Изучение плотности потока радона (ППР) на поверхности Земли используется для решения различных задач – поиска зон разломов, месторождений радиоактивных полезных ископаемых, прогноза землетрясений, защиты сооружений [1] и др. ППР зависит от особенностей строения недр [2]: проницаемых зон (разломов), формирования магматических пород, изменения течения подземных вод и т. д.

75 процентов суммарной дозы облучения организма человека от всех источников радиации принадлежит природным источникам ионизирующего излучения. Основная роль принадлежит радону и его короткоживущим дочерним продуктам распада, за счет которых в основном и формируется коллективная доза облучения населения России [3].

Крупными европейскими эпидемиологическими исследованиями [4, 5] отмечается канцерогенный эффект радона. Согласно этим исследованиям, радон является второй по значимости причиной рака легкого (после курения). Влияние радона на организм человека требует дополнительных исследований, так авторы [6] подчеркивают, что, несмотря на значительный прогресс в понимании молекулярных механизмов, многие аспекты влияния радона на человека остаются недостаточно изученными, особенно при низких дозах, характерных для жилых помещений, и требуют совершенствования методов оценки риска.

Однако, кроме негативного воздействия [7], радон при определенных условиях может оказывать и бальнеологический эффект, достигаемый при наружном контакте тела человека с радоном, концентрация которого превышает фоновые значения. Слабое альфа-излучение инициирует в клетках и органах человека процессы регенерации [8, 9]. Это свойство радона используется в бальнеологическом лечении многих заболеваний в санаторно-курортных местностях РФ (например, Белокуриха, Кульдур, Былыра [10, 11]).

Некоторые исследователи отмечают, что поступления радона по разрывным нарушениям и неравномерность распределения радона по поверхности характерны для зон выхода минеральных флюидов. Например, фоновые значения плотности потока радона для села Касумкент, где функционирует курорт на базе слаборадоновых вод, – незначительны и составляют 20 мБк/(м^2·с) , а в зоне выхода минеральных вод были обнаружены на порядок большие значения: 240 мБк/(м^2·с) [12].

По данным Роспотребнадзора, общая радиационная обстановка на территории Камчатского края на протяжении многих лет не представляет угрозы для здоровья населения [13]. Вместе с тем имеются данные о повышенных концентрациях радона в локальных зонах активного вулканизма, в том числе геотермальных источниках [14]. В 2023 году были проведены исследования на наличие радона в попутных газах Анавгайского геотермального месторождения, в ходе работ впервые была обнаружена достаточно высокая концентрация радона в попутном газе скважины Э-2 [15]. Наличие непосредственно на Анавгайском геотермальном месторождении жилого поселка Анавгай требует дополнительного исследования ППР и оценки воздействия радона на здоровье человека.

Цель работы: предварительное определение величины плотности потока радона по площади Анавгайского геотермального месторождения; оценка влияния природных (разломных зон) и техногенных нарушений связанных с бурением скважин, а также оценка возможного влияния радона на здоровье населения.

Объект исследования

Район исследования принадлежит центральной части Срединного хребта Камчатского полуострова (рис. 1). Анавгайское месторождение термальных вод расположено в ме-

сте слияния реки Анавгай с рекой Быстрой, левым притоком реки Камчатки (56^{0}3.232’СШ; 158^{0}58.151” ВД).



Рис. 1. **Район исследования – Анавгайское месторождение. Место расположения Быстринского округа и с. Анавгай на карте Камчатского полуострова /**
Fig. 1. **The research area is the Anavay deposit. The location of Bystrinsky district and the village of Anavgay on the map of the Kamchatka Peninsula**

Село Анавгай – второй по величине поселок (около 600 человек) в Быстринском муниципальном округе Камчатского края, расположено в 334 км по прямой на север от г. Петропавловска-Камчатского (рис. 1), на территории горного отвода Анавгайского месторождения термальных вод (рис. 2). Границы месторождения четко не установлены. На западе и юге, это, по-видимому, грабенобразующие разломы по правым бортам рек Анавгай и Быстрой, на севере и востоке, соответственно, районы скважин 23 и 31, в сторону которых от центра отмечается снижение температур. Площадь равнинной части месторождения – около 2 км^2.

Толщи пород представлены алнейской серией неогена (туфы, туфобрекчии), перекрытые с поверхности толщами четвертичных отложений. Максимальная глубина пробуренных скважин – до 1 463 м (скважина Э-1). Анавгайское геотермальное месторождение является составной частью Эссовско-Быстринской гидротермальной системы, характеризующейся трещинно-жильным типом коллекторов [15].

Формирование Анавгайского месторождения, как и всей Эссовско-Быстринской гидротермальной системы, является результатом смешения эндогенных флюидов с инфильтрационными водами. Продукты вулканической деятельности нижнечетвертичного возраста широко распространены по бортам долин реки Быстрой, перекрывают на склонах и водораздельной части хребтов образования неогенового фундамента, представлены преимущественно лавами базальтов, реже – андезито-базальтов. Современные отложения представлены рыхлым валунно-галечниковым речным матери-

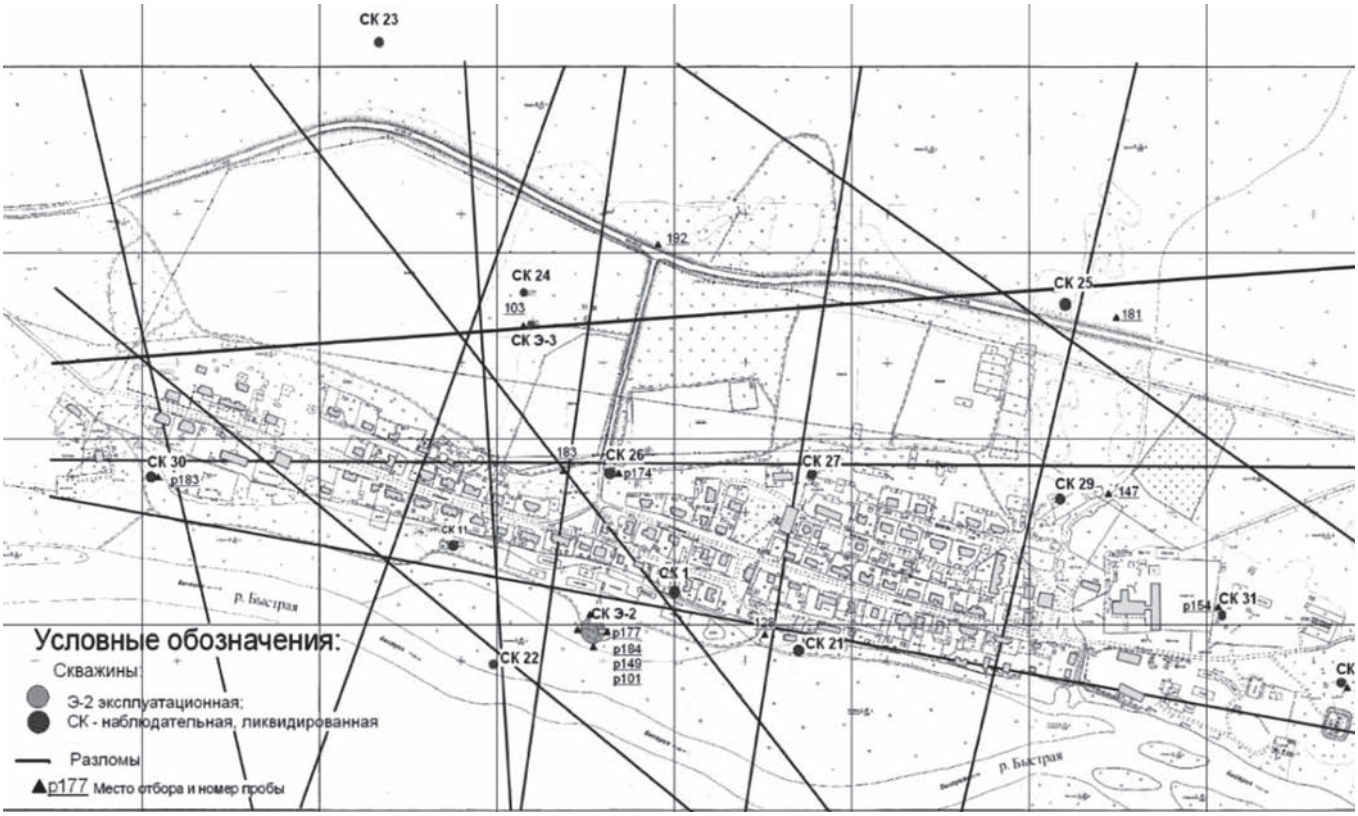


Рис. 2. **Район исследования. Карта-схема установки накопительных камер для определения плотности потока радона в с. Анавгай (Анавгайское геотермальное месторождение). Шаг сетки – 100 м. Цифра после СК – номер скважины. Подробные сведения о величинах ППР и соответствующем номере пробы приведены в таблице /**
Fig. 2. **The research area. The map is a diagram of the installation of storage chambers for determining the radon flux density in the village of Anawgay (Anawgay geothermal field). The grid pitch is 100 m. The number after the CK is the number of the well. Detailed information about the RFD values and the corresponding sample number is given in Table**

алом и илами, а также суглинками болотных отложений. Речные отложения слагают подрусловую часть рек Быстрой и Анавгай, пойменную и надпойменные террасы. Мощность рыхлых современных образований достигает 100 м (вскрыто скважиной Э-3).

Отложения сцементированы цеолит-кремнистым цементом в местах выходов геотермальных источников. Болотные отложения распространены незначительно, в верхней части встречаются торф, илы.

В структурном плане месторождение расположено на границе двух крупных тектонических структур первого порядка грабен-синклинали Срединного хребта [29] и Козыревского горстового поднятия. Структуры второго порядка (на северо-востоке – Северо-Козыревская, на западе-крупная – Анавгайская) – вулканотектонические структуры. Месторождение расположено на стыке грабенов долин рек Быстрой и Анавгай.

В геологическом строении месторождения принимают участие породы алнейской серии четвертичного возраста. Отличительными особенностями образований алнейской серии является невыдержанность отдельных пластов по мощности и простиранию при их почти горизонтальном залегании. Водовмещающие образования, представленные породами неогена перекрыты толщей четвертичных отложений мощностью до 100 м. Водопритоки вскрыты в скважинах на глубинах от 215 до 1 228 м. Выявлены дайки и субпластовые тела четвертичного возраста, представленные базальтами, андезибазальтами, андезитами.

Краткая характеристика геологического разреза на примере эксплуатационной скважины Э-2: валунно-галечные отложения Q_{IV} (0–65 м), туфы N_{al} (66–365 м), андезибазальты αQ (366–395 м), туфы в переслаивании с пластами базальтов и андезитов N_{al} (396–1 228 м).

Предварительные разведочные работы

Разведочные работы на Анавгайском геотермальном месторождении, проводились в 1969–1984 годах [29]. В период освоения было пробурено 12 поисково-разведочных скважин, большая часть которых законсервирована, часть переведена в наблюдательные. В 1989–1990 годах на территории месторождения были дополнительно пробурены три разведочно-эксплуатационные скважины Э-1, Э-2 и Э-3 глубиной, соответственно, 1 463, 1 228 и 1 421 м.

В настоящее время только одна скважина (Э-2) используется для отопления поселка Анавгай, остальные законсервированы или ликвидированы. Протоколом ТКЗ от 26 марта 1990 года утверждены запасы Анавгайского месторождения категории В – 2,72 тыс. м^3/сут, $T_{ср.взв.}$ = 71 °С; C_2 = 0,65 тыс. м^3/сут, $T_{ср.взв.}$ = 73 °С.

Анавгайские воды относятся к нейтральным, слабощелочным (pH 6.9–8.6). По химическому составу – сульфатные кальциево-натриевые (подробный химический состав вод Анавгайского месторождения приведен в работе [16]). Щелочные, азотные термы распространены в основном в районах раннечетвертичного вулканизма, которые формируются в восстановительной обстановке на глубине в зонах тектонических разломов.

На Камчатке к азотным гидротермам сульфатного и хлоридносульфатного состава относятся Паратунские, Начикинские, Тюшевские, Нижне-Чажминские, Двухюрточные, Малкинские, Эссовские и другие источники. Как правило, такие гидротермы имеют низкое газосодержание, незначительную минерализацию (до 2 г/л), хлоридно-сульфатный, кальциево-натриевый состав, повышенное содержание кремниевой кислоты (до 100 мг/л), нейтрально-щелочную реакцию среды (pH 8–9.4). Наиболее близкими к Анавгайскому месторождению по составу газов, минерализации и химическому составу являются термальные воды Нижне-Паратунского месторождения. Генетически азотно-сульфатные термы являются инфильтрационными водами, химический состав которых формируется выщелачиванием вулканогенно -осадочных пород, характерных для Камчатского полуострова. Как правило, это породы алнейской серии плиоценового возраста.

Согласно отчету [29], по составу газов Анавгайское месторождение относится к азотным термам, преобладающим спонтанным газом является азот (96,3–98,9 %), также во всех скважинах был обнаружен аргон (0,66–1,24 %) и углекислый газ (0,05–1,43 %). Остальные газы обнаружены в отдельных пробах и незначительных количествах: кислород – до 1,53 %, сероводород – 0,34 %, водород – 0,03 % и метан – 0,04–0,16 %. Относительно недавно [15] в газах Анавгайского месторождения обнаружен радон, который является ценным бальнеологическим компонентом, но в то же время в больших концентрациях может нанести вред здоровью.

На исследуемой площади ранее были выделены два комплекса магматических образований: нижнечетвертичные дайки базальтов и среднечетвертичные экструзии, а также и малые интрузии андезитов, дацитов, которые могут включать источники естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ). Накопление ЕРЭ на Камчатском полуострове, по представлениям некоторых ученых [17], происходит от зоны спрединга до зоны субдукции [14] при движении погружающейся под мантийный клин базальтовой пластины по дну Тихого океана. Взаимодействуя с подземными термальными водами, естественные радиоактивные элементы (U, Th. Ra) на глубине сотен (тысяч) метров от поверхности Земли в определенных зонах накапливаются. Появляющийся при радиоактивном распаде ЕРЭ радон ^{222}Rn (иногда в значительных концентрациях [14]) по тектоническим нарушениям, а также скважинам поднимается на поверхность, где и рассеивается.

Согласно карте радоноопасности [18, 19], данная зона Срединного хребта относится к пограничной, где концентрации радона могут как превышать допустимые, так и не достигать критических значений. Вследствие этого изучение плотности потока радона на поверхности и оценки экологической обстановки на Анавгайском геотермальном месторождении актуально.

Направление исследований

Цель работы – проведение радоновой съемки – была поставлена вследствие обнаружения в 2023 году в попутном газе скважины Э-2 Анавгайского месторождения радона ^{222}Rn.

Для оценки экологического влияния поставлена задача определения закономерностей поступления ППР по площади геотермального месторождения и оценка взаимосвязи ППР с существующими тектоническими нарушениями и техногенными нарушениями (скважины), а также предварительная оценка общей обстановки по радоноопасности в с. Анавгай.

Методика измерений

Существует множество методов определения радона (эманационные, трековые, радиографии, метод фильтров и т. п.), они подробно описаны в [20]. В настоящем исследовании использовался квазиинтегральный метод измерения плотности потока радона по стандартной методике НТЦ «Нитон»[1] , описанной в руководстве по эксплуатации прибора «Камера-01». Методика основана на поглощении радона адсорбированным углем . *Квазиинтегральный метод* основан на пассивном отборе пробы накопительной камерой (НК-32), установленной на поверхности земли (с поглощением радона, выделяемого с поверхности земли активированным углем).

Исходя из опыта проведения радоновой съемки на Эссовском гидротермальном месторождении были выбраны места установки накопительных камер (НК-32) по площади Анавгайского месторождения в привязке к пробуренным скважинам. Часть камер были установлены вдали от скважин, некоторые – на разломах. Ниже приведено описание месторасположения скважин, около которых проводились измерения (рис. 2).

Наблюдательные скважины: непосредственно перед въездом в Анавгай, слева (10 м) на пригорке, расположена наблюдательная скважина № 26 (безнапорная). На западе Анавгая находится наблюдательная безнапорная скважина № 30 (на оголовке сейсмологами установлено оборудование для записи глубины уровня воды в скважине).

После въезда в с. Анавгай, налево по дороге, через 200 м расположена скважина № 27 *(законсервированная)*, через 200 м в том же направлении, в огородах за 12-квартирным домом, находится скважина № 29 *наблюдательная (напорная)*, из оголовка которой по отводной трубке течет термальная вода с небольшим расходом около 0,1 л/с и температурой (на момент измерения) +9 °С.

Скважина Э-1 *(законсервированная)* находится далее в том же направлении, на юг от полуразрушенного здания на западной окраине с. Анавгай.

Скважина № 21 *(наблюдательная)* – на южной стороне поселка, на косогоре рядом с ручьем. Из скважины по шлангу течет вода с расходом около 0,5 л/с и температурой около 60 °С.

Эксплуатационная скважина Э-2 находится на юге, около реки Быстрой (см. фото на рис. 3). Расположение скважин приведено на карте-схеме (рис. 2).



Рис. 3. **Общий вид эксплуатационной скважины Э-2. На заднем плане – бак-накопитель /**
Fig. 3. **General view of the production well E-2. There is a storage tank in the background**

[1]Комплекс измерительный для мониторинга радона «Камера-01». Руководство по эксплуатации. М.: НТЦ «Нитон». 2003. 24 с

Методы измерения

Выбранный участок земли соответствующим образом подготавливался: очищался от дерна, камней и рыхлился в соответствии с методикой. После пересыпания подготовленного угля в НК-32 сверху устанавливалась защитная сорбционная колонка (СК-13) с целью предотвращения поступления радона из окружающего воздуха. Средняя ППР с поверхности грунта на Анавгайском месторождении измерялась в течение 1–5 часов. После проведения измерений уголь из НК-32 ссыпался в пустую СК-13, плотно закрывался, а затем транспортировался (в течение часа) к месту обработки результатов. Обработка происходила на блоках детектирования компьютерным комплексом с помощью поставляемой с прибором программы «Радон-98».

Измерения ППР проводились в различные периоды с августа 2025 года по май 2026 года. Всего было установлено 14 НК32 по площади Анавгайского месторождения. Для оценки естественного радиационного фона в местах измерений ППР проводились замеры фоновой радиации дозиметром Quantum/006-02497. Непосредственно около мест установки НК-32 измерения показали невысокий естественный фон, в пределах 12–15 мкР/ч, характерный для данной местности.

Для предварительной оценки влияния скважин измерения проводились в непосредственной близости от скважин. Около наблюдательных и ликвидированных скважин устанавливалось по одной НК-32, более детально ППР определялся около эксплуатационной скважины Э-2, возле которой было установлено четыре НК-32.

Накопительные камеры около скважин устанавливались на расстоянии 0,2–0,7 м от оголовка скважины, на грунте (за границей бетонной площадки оголовка). Для подтверждения ранее измеренной в работе [15] объемной активности радона в попутном газе скважины Э-2 были произведены дополнительный отбор газа и измерение объемной активности радона (по методике, описанной в работе [15]).

Некоторая часть НК-32 устанавливалась над предполагаемыми разрывными нарушениями и вдали от них (рис. 2). Для определения фоновых показателей плотности потока радона в условиях Срединного хребта (при отсутствии вулканической и гидротермальной деятельности) одна камера НК-32 была установлена на расстоянии 23 км севернее Анавгая, в горной тундре, в 2 м от края дороги-автозимника Анавгай – Палана (координаты приведены в табл.).

Результаты исследования и их обсуждение

Измерения плотности потока радона на Анавгайском месторождении ранее не проводились. С учетом того, что в попутных газах геотермального месторождения ранее был определен радон, автором высказано предположение, что поступление радона связано с гидротермальной деятельностью. Предположительно на площади Анавгайского месторождения потоки гидротермального флюида контролирует разрывная тектоника (рис. 2). Радон поднимается в основном по разрывным нарушениям и скважинам вместе с геотермальным флюидом и рассеивается. Для месторождения можно выделить две системы тектонических нарушений: первая включает нарушения субширотного и субмеридионального простирания, а вторая – северо-восточного и северо-западного простирания [29] (рис. 2). Кроме того, активные тектонические движения создали на площади месторождения серию диагональных нарушений.

Исследований радиоактивности пород на Анавгайском геотермальном поле в литературных источниках не обнаружено. По аналогии с Эссовским месторождением, имеющим похожие характеристики и химический состав воды [16], можно предположить, что содержание естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) U, Th, K во вмещающих породах и глинах низкое [14], с низкой γ-активностью в пределах 6 мкР/ч.

Анализ, проведенный автором работы [14], показывает, что главным γ-излучателем в данном районе является ^{40}K. В окрестностях Анавгайского геотермального месторождения отсутствуют действующие вулканы, которые могли бы повлиять на наличие радиоактивных элементов рядов урана и тория. Ранее в работе [14] отмечалось, что отклонения концентрации радона на Камчатке обнаружены именно в районах активного вулканизма (например, вулкан Толбачик, кальдера Узон, Мутновский вулкан и т. п.). Ближайшие от района исследований действующие вулканы – Ичинская сопка (расположен в 88 км по прямой на юго-запад) и Толбачик (88 км юго-восточнее Анавгайского месторождения). На расстоянии около 104 км находится крупнейший действующий вулкан Евразии – Ключевская Сопка. В непосредственной близости к месторождению стоят потухшие сравнительно небольшие четвертичные вулканы, в том числе голоценовые. Можно утверждать, что влияние вулканов отсутствует.

Сравнительно высокие значения радона отмечены [15] в попутных газах эксплуатационной скважины Э-2 Анавгайского месторождения. В рамках данного исследования были дополнительно взяты две пробы попутного газа (в объеме 2 литров) в скважине Э-2. Объемная активность радона составила 92 480 (81 080) ± 13 290 (12 490) Бк/м^3, что несколько выше ранее измеренной (в 2023 г.) – 55,3 кБк/м^3. Таким образом, дополнительно подтвердилось наличие достаточно большой концентрации радона, поднимающегося из глубин совместно с геотермальным флюидом. Поскольку основные зоны водопритоков для эксплуатационных скважин вскрыты на глубинах от 220 до 1 400 м (подробные характеристики зон водопритоков приведены в отчете [29]), предположительно эманирующий коллектор радия находится на больших глубинах, откуда и поступает радон. Для подводящего геотермального коллектора (по аналогии с Эссовским месторождением) возможно наличие трещин до 30 мм, что дает оценку глубин эманирующего коллектора радия не менее 2 км.

Рудопроявления естественных радиоактивных элементов (уран, торий, радий) имеют гидротермальный генезис[2]. Пробуренные на месторождении скважины способствуют значительному росту потока флюида к поверхности в местах этих техногенных нарушений и росту потока радона. Предположительно, на эманацию радона оказывает влияние серия мелких интрузивных тел, внедрившихся по зонам тектонического дробления.

Поскольку данные о плотности потока радона на месторождении отсутствовали, предварительно были проведены поисковые замеры около скважин. Места выбирались таким образом, чтобы охватить центральную часть и окраины Анавгайского месторождения (рис. 2). Измеренные ППР в выбранных местах приведены в таблице.

Результаты экспериментальных исследований

В ходе эксперимента непосредственно на скважине был измерен Ph, который оказался равен 8,42 (температура воды в скважине на момент измерений – 81 °C), что подтвердило слабощелочной характер геотермальной воды.

Исследования ППР (табл.) показали, что распределение плотности потока радона по площади месторождения неравномерно. Обнаруженные различия потоков радона на площади Анавгайского месторождения, по-видимому, связаны с наносами как хорошо проницаемых (песок, гравий), так и слабо проницаемых (глины, суглинки) для радона пород.

Измерения показали, что повышенные плотности потока радона не связаны с разломными зонами и тектоническими структурами, проницаемыми для газов, транспортирующих радон, поскольку рассеиваются мощными поверхностными четвертичными отложениями и частично перераспределяются слабопроницаемыми породами. Поэтому при проведении изысканий под строительство зданий и сооружений радоновая съемка необходима, независимо от того, находится ли объект над разломом, или нет.

С учетом исследований [16] автором высказано предположение, что наиболее значимый поток радона должен быть в непосредственной близости от скважин, поскольку наибольшие объемы радона выносятся с геотермальной водой и попутными газами. Данное предположение подтвердилось.

По-видимому, основной поток попутных газов, включая радон, поднимается из зон водопритоков пробуренных скважин, например, водопритоки эксплуатационной скважины Э-2 вскрыты в интервале глубин 865–885; 1115–1194; 1195–1228 м. Скорость подъема теплоносителя, содержащего радон, в скважинах на несколько порядков выше (скорость подъема флюида в эксплуатационных скважинах составляет до 2,5 м/с), чем скорость конвективных потоков в разрывных нарушениях на месторождении, однако в местах водопритоков, имеющих трещины, скорость подъема флюида может быть также значительной. Период полураспада радона всего 3,8 суток, следовательно, при значительных скоростях подъема флюида по трещинам и скважинам поверхности может достигать достаточно большая часть радона, сформированного в эманирующем коллекторе.

Повышенное содержание радона в газах, добываемых из недр, само по себе не является необычным. Например, в работе [21] указано, что активность радона в природном газе составляла от 2 до 81 Бк/м^3, однако для Анавгайского месторождения наличие радона в попутных газах впервые было определено относительно недавно: в 2023 году [15].

Поскольку площадь месторождения перекрыта глинистыми отложениями, относительно непроницаемыми для газов, а также аллювиальными породами, рассеивающими радон, выходящий из тектонических разломов, какой-либо зависимости ППР от расположения накопительных камер НК-32 непосредственно над разломными нарушениями либо в удалении от них не отмечено. Данное обстоятельство объясняется авторами работы [22]: широко распространенные толщи глинистых отложений (на примере территории Дагестана) приводят к «затуханию разломов» и могут даже служить ловушками для газов, в том числе радона. Возможно,

[2] Титаева Н. А. Ядерная геохимия: учебник. М.: Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, 2000. 336 с.

Таблица / Table

Результаты измерения плотности потока радона около действующей и наблюдательных скважин Анавгайского геотермального месторождения / The results of measuring the radon flux density near the operating and observation wells of the Anavgay geothermal field

Дата и время измерения	Населенный пункт	Место пробоотбора (координаты) (см. рис. 2)	Начало пробоотбора, дата, время	Окончание проботобора, дата, время	Пробо-отбор, ч:м	Продол. изм., сек	Активность радона в угле		Результаты измерения		Основание	Номер измеренной пробы
							Бк	погр.	мБк/(м²·с)	погр.		
08.08.2025 17:00	Анавгай	Ск. Э-2 эксп., 0,7 м сев.	08.08.2025 10:52	08.08.2025 14:46	3:54	4 503	0,216	0,076	5	3	Грунт	p177
08.08.2025 18:00	Анавгай	Ск. Э-2 эксп., 0,7 м юг	08.08.2025 10:54	08.08.2025 14:48	3:54	3 602	0,571	0,085	15	4	Грунт	p184
08.08.2025 17:00	Анавгай	Ск. 30 наб., 0,5 м вост.	08.08.2025 10:38	08.08.2025 14:38	4:00	4 537	0	0,076	0	4	Почва	p183
08.08.2025 18:00	Анавгай	Ск. Э-2 эксп., 0,7 м вост.	08.08.2025 10:53	08.08.2025 14:47	3:54	3 622	0,654	0,085	18	5	Почва	p149
08.08.2025 19:00	Анавгай	Ск. Э-2 эксп., 0,7 м зап.	08.08.2025 10:55	08.08.2025 14:48	3:53	3 107	0,652	0,09	18	5	Почва	p101
08.08.2025 20:00	Анавгай	Ск. 26, 0,5 м вост.	08.08.2025 11:17	08.08.2025 14:33	3:16	3 539	0,459	0,085	15	5	Почва	p174
08.08.2025 19:00	Анавгай	Ск. 31 наб., 1 м сев.	08.08.2025 11:10	08.08.2025 14:57	3:47	3 404	0,164	0,084	4	4	Грунт	p154
08.08.2025 20:00	Дорога Анавгай – Палана, 23 км на сев.	2 м от дороги СШ55°54.574' ВД158° 42.608'	08.08.2025 11:48	08.08.2025 13:48	2:00	4 185	0,001	0,077	0	4	Почва	p119
29.05.2026 21:00	Анавгай	56 метров на запад от ск. 26	29.05.2026 16:19	29.05.2026 19:49	3:30	3 322	0,325	0,084	9	4	Почва	183
29.05.2026 21:00	Анавгай	0,5 м от ск. Э-3	29.05.2026 16:27	29.05.2026 19:53	3:26	3 036	1,176	0,094	35	7	Почва	137
29.05.2026 22:00	Анавгай	50 м на вост. от ск. 29	29.05.2026 16:45	29.05.2026 19:37	2:52	1 958	0	0,102	0	7	Почва	147
29.05.2026 22:00	Анавгай	60 метров на зап. от ск. 21	29.05.2026 16:36	29.05.2026 19:43	3:07	2 296	0,192	0,096	6	6	Почва	128
29.05.2026 23:00	Анавгай	0,2 м на юг от ск. Э-1	29.05.2026 16:54	29.05.2026 19:32	2:38	3 720	0,392	0,083	15	6	Гравий	170
29.05.2026 23:00	Анавгай	100 м на восток от ск. 25 (СШ 56° 03,407' ВД 158° 58,835')	29.05.2026 17:13	29.05.2026 19:17	2:04	3 609	0,341	0,081	16	7	Почва	181
30.05.2026 00:00	Анавгай	Перекресток дор. к с. Анавгай	29.05.2026 17:03	29.05.2026 19:57	2:54	4 057	0,242	0,079	8	5	Грунт	192

аналогичная ситуация сложилась и в месте проведения настоящих исследований.

В работе [23] отмечается, что с помощью ППР можно прогнозировать значения ЭРОА радона в помещениях. Авторы [24] отмечают, что нарушение верхнего слоя, например при рытье котлована, увеличивает ППР низлежащих слоев (допустим, на уровне подошвы фундамента). Расчеты авторов показывают, что при максимальной реальной для осадочных пород длине диффузии[3], равной 1,9 м, поток радона, достигающий внешней границы поверхностного слоя, формируется в слоях, суммарная толщина которых (толщина «активного» слоя) составляет около 10 м. По их мнению, исключения возможны лишь при феноменально мощных источниках радона на больших глубинах, что характерно для геотермальных месторождений. **При** низких и средних значениях длины диффузии[3] толщина активного слоя грунта составляет от 1 до 6 м, что соизмеримо и даже может быть меньше, чем величина заглубления зданий.

По данным авторов [25], для суглинков в природных условиях коэффициент диффузии радона в 1,5–4,5 раза ниже, чем, например, для щебенистых аллювиально-делювиальных отложений. По-видимому, с этим и связана значительная неравномерность распределения ППР по поверхности на Анавгайском геотермальном месторождении.

По результатам исследований (см. рис. 4) средний уровень ППР, измеренного на Анавгайском месторождении, характеризуется как невысокий и составляет 11,7 ± 5,1 мБк/(м²·с) .

[3]Длина диффузии радона – расстояние, на котором активность радона, проходящего через слой материала вследствие диффузии, уменьшается в результате распада в е раз (е – основание натурального логарифма -2,72), м.

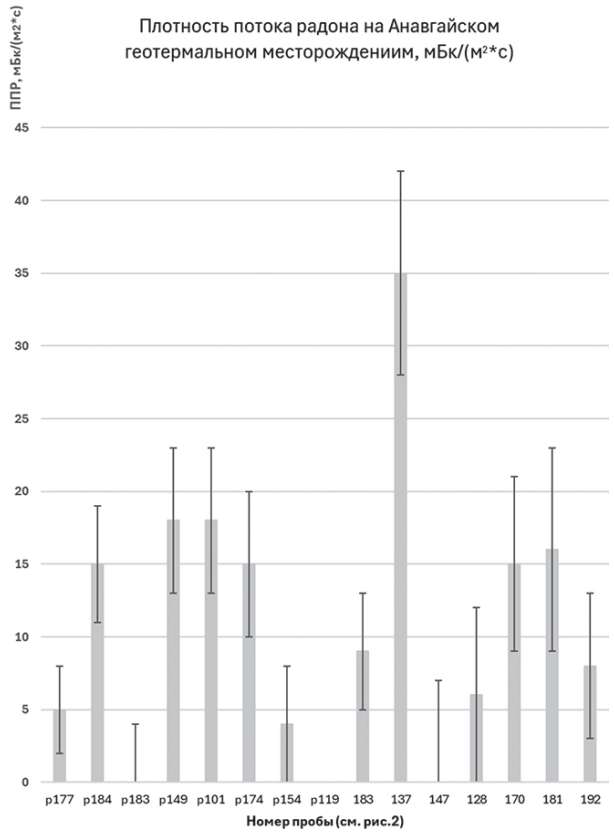


Рис. 4. **Измеренная плотность потока радона на Анавгайском геотермальном месторождении (по оси абсцисс – номер пробы (расположение точек отбора (рис. 2), пояснения в табл.) /**

Fig. 4. **Measured radon flux density at the Anavar geothermal deposit (along the abscissa axis, the sample number (location of sampling points, see Fig. 2), explanations in Table).**

Заключение

1. В России предельно допустимая плотность потока радона с поверхности грунта в пределах периметра застройки нормируется: для жилых и общественных зданий – не более 80 мБк/(м²·с); для производственных зданий и сооружений – до 250 мБк/(м²·с). Максимальное значение ППР на Анавгайском месторождении не превышало нормативного и составило 35 ± 7 мБк/(м²·с) около ликвидированной скважины Э-3. По-видимому, это связано с конструктивными особенностями скважины и фильтрацией радона в затрубном пространстве этой скважины. Следует отметить, что измеренная плотность радона в Анавгае невысокая, в РФ существуют населенные пункты со значениями ППР на два порядка больше, например в г. Волгограде [24] зафиксирована ППР, равная 3 945 мБк/(м²·с), в г. Лермонтово [26] – до 2 730 мБк/(м²·с).

2. Измеренный фоновый поток радона в условиях Срединного хребта на значительном удалении от геотермальных месторождений (в частности, от Анавгайского) показал практически полное отсутствие потока радона в этом месте (ППР = 0 ± 4 мБк/(м²·с). Дополнительно была измерена фоновая ППР в долине реки Камчатки (центральная Камчатская депрессия), около моста через реку Козыревку (координаты СШ 55°41,815’ ВД 159°25,546’), ППР = 8 ± 7 мБк/(м²·с). Данные по фоновым измерениям согласуются с утверждением, что Камчатский полуостров в целом относится к регионам с низким радиационным фоном, который не представляет угрозы для здоровья населения (данные Роспотребнадзора). Вместе с тем в научной литературе имеются данные о повышенных концентрациях радона в локальных зонах активного вулканизма, в том числе в геотермальных источниках, например, до 8 500 кБк/м³ – кратер вулкана Старый Кихпиныч [14, 27]. Это требует целенаправленного изучения радоноопасности населенных пунктов, расположенных в непосредственной близости к районам с гидротермальной и вулканической деятельностью.

3. Анализ распределения плотности потока радона по месторождению показывает, что Анавгайское месторождение характеризуется относительно равномерным распределением потока радона по поверхности. Зоны повышенных значений ППР в основном приурочены к скважинам и впрямую не зависят от зон тектонических разрывных нарушений. Повышенное значение ППР около скважин связано, вероятнее всего, с поступлением радона из глубин по трещинам в затрубном пространстве обсадных колонн скважин. Наличие радона в данном районе отмечается и на Эссовском геотермальном месторождении [28], однако в отличие от Анавгайского Эссовское месторождение характеризуется более контрастным распределением ППР по поверхности и более высокими средним (40,4 мБк/(м²·с) и максимальным (316 мБк/(м²·с) значениями ППР.

Выводы

1. Вследствие обнаружения в 2023 году в попутном газе эксплуатационной скважины Э-2 Анавгайского месторождения радона ^{222}Rn была поставлена задача определения плотности потоков радона по площади геотермального месторождения.

2. Исследование ППР проводилось в 2025–2026 годах по квазиинтегральной методике НТЦ «Нитон» с применением измерительного комплекса для мониторинга радона «Камера-01». Всего было установлено 14 накопительных камер для улавливания радона по площади месторождения. Измерения показали относительную равномерность поступления потоков радона по площади и отсутствие явной зависимости от тектонических разрывных нарушений, что связано, по-видимому, с рассеиванием потоков радона при прохождении через верхний слой валунно-галечных отложений, покрывающих Анавгайское месторождение (местами до 100 м). Среднее значение измеренной плотности потока радона на месторождении составило 11,7 ± 5,1 мБк/(м²·с). Максимальное значение ППР, в три раза выше среднего значения на месторождении, определено около ликвидированной скважины Э-3 – 35 ± 7 мБк/(м²·с). Значения ППР на Анавгайском геотермальном месторождении выше фоновых значений, измеренных на значительном удалении от месторождения, – в 23 км севернее с. Анавгай (Срединный хребет), где был измерен практически нулевой поток радона (0 ± 4 мБк/(м²·с). В сравнении с ППР Эссовского геотермального месторождения (расположенного в 22 км юго-западнее Анавгайского) среднее значение ППР Анавгайского месторождения имеет более низкие значения.

3. Несмотря на то что в целом Камчатский полуостров не относится к районам с повышенной радоноопасностью, наличие высокой активности радона в локальных местах, приуроченных к гидротермальной и вулканической деятельности, требует дальнейшего целенаправленного изучения радонопроявлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Шубин И.Л., Бакаева Н.В., Калайдо А.В. Защита воздушной среды жилых и общественных зданий от радона. *Научный журнал строительства и архитектуры*. 2022; 1 (65): 76-84. https://doi.org/10.36622/VSTU.2022.65.1.007.
   Shubin I.L., Bakaeva N.V., Kalajdo A.V. Protection of the air environment of residential and public buildings from radon. *Russian Journal of Building Construction and Architecture* . 2022; 1 (65): 76-84. (In Russ.). https://doi.org/ 10.36622/VSTU.2022.65.1.007.
2. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды: теория и практика: учебное пособие. Москва, 2006: 286.
   Sapozhnikov Yu. A., Aliev R. A., Kalmykov S. N. Radioactivity of the Environment: Theory and Practice: A Textbook. Moscow, 2006: 286. (In Russ.).
3. Карпин В.А. Современные экологические аспекты естественной эманации изотопов радона: обзор литературы. *Экология человека*. 2020; 6: 34-40. https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-6-34-40.
   Karpin V.A. Modern ecological aspects of the natural emanation of radon isotopes: a review of the literature. *Human Ecology* . 2020; 6: 34-40. (In Russ.). https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-6-34-40.
4. Navratilova-Rovenska K., Boal T., Colgan T. Exposure due to radon in homes – an IAEA perspective. XXXVI. Dny radiačnej ochrany: Proceedings of the 34. Days of Radiation Protection. Poprad, 2014: 15.
5. Darby S., Hill D., Auvinen A., et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*. 2005; 330 (7485): 223-227. https://doi.org/ 10.1136/bmj.38308.477650.63.
6. Marian, H. Ja. An overview of modern ideas About the effect of radon on human health / H. Ja. Marian // , 27 июня 2024 года, 2024. – P. 84-89.
7. Крисюк Э. М. Последствия воздействия на организм радона и продуктов его распада. *Аппаратура и новости радиационных измерений*. 1996/97; 3 (9): 16-24.
   Krisyuk E.M. Effects of exposure to radon and its decay products on the body. *Instruments and Radiation Measurements News (IRMN).* 1996/97; 3 (9): 16-24. (In Russ.).
8. Карпишевич Л.Г., Минько Н.П., Пономарев В.А. и др. Уникальные природные факторы санатория «Радон». *Международные обзоры: клиническая практика и здоровье.* 2017; 5-6: 124-135. URL: cyberleninka.ru/article/n/unikalnye-prirodnye-faktory-sanatoriya-radon .
   Karpishevich L.G., Minko N.P., Ponomarev V.A., et al. Unique natural factors of the sanatorium "Radon". *International Reviews on Computer Science: Series H Medical Informatics and Applications* . 2017; 5-6: 124-135. (In Russ.) URL: https://cyberleninka.ru/article/n/unikalnye-prirodnye-faktory-sanatoriya-radon.
9. Самосюк И.З., Федоров С. Н., Думин П. В. Радонотерапия: проблемы и перспективы. *Український медичний часопис*. 2000; 2: 119-123.
   Samosyuk I.Z., Fedorov S.N., Dumin P.V. Radon therapy: problems and prospects. *Ukrainian medical Chronicle.* 2000; 2: 119-123. (In Russ.).
10. Курбанов М.К. Геотермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья; отв. ред. И.К. Камилов, Б.Г. Поляк. Москва, 2001: 259.
    Kurbanov M.K. Geothermal and hydrothermal resources of the Eastern Caucasus and Ciscaucasia. Moscow, 2001: 259. (In Russ.).
11. Логинов А.А. Белокурихинское месторождение радоносодержащих кремнистых термальных вод. *Недропользование XXI век*. 2022; 6 (98): С. 32-39.
    Loginov A.A. Belokurikhinskoye deposit of radon-containing siliceous thermal waters. *Subsoil use XXI century.* 2022; 6 (98): 32-39. (In Russ.).
12. Бабаев М.Р., Газалиев И.М., Идрисов И.А. Изучение потока радона к поверхности на территории Дагестана. *Известия ДГПУ. Естественные и точные науки.* 2011; (4): 6-10.
    Babaev M.R., Gazaliev I.M., Idrisov I.A. Study of radon flow to the surface in Dagestan. Dagestan State Pedagogical University Journal. Natural and Exact. 2011; (4): 6-10. (In Russ.).
13. Радиационная обстановка в Камчатском крае. Управление Роспотребнадзора по Камчатскому краю. URL: https://41.rospotrebnadzor.ru/content/radiacionnaya-obstanovka-v-kamchatskom-krae.
    Radiation situation in the Kamchatka Territory. Department of Rospotrebnadzor in the Kamchatka Territory . (In Russ.). URL: https://41.rospotrebnadzor.ru/content/radiacionnaya-obstanovka-v-kamchatskom-krae.
14. Андреев В.И. Распределение естественных радиоактивных элементов в твердых вулканитах и радиогенных газах из вулканов и гидротерм Камчатки и Курил. Петропавловск-Камчатский, 2013: 158.
    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, 2013. 158. (In Russ.).
15. Кудряшов В.А., Пашкевич Р.И. Оценка радонопроявлений на Анавгайском геотермальном месторождении (с. Анавгай) Быстринского района Камчатского края / Камчатка-13: вып. 2. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2023; 12: 25-43.
    Kudryashov V.A., Pashkevich R.I. Assessment of radon occurrences at the Anavgay geothermal field (village of Anavgay) of the Bystrinsky district of the Kamchatka Territory / Kamchatka-13. Vol. 2. *Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal).* Moscow, 2023; 12: 25-43. (In Russ.).
16. Кудряшов В.А. Оценка проявлений радона на гидротермальных месторождениях Быстринского района Камчатского края. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология.* 2025; 2: 19-34. https://doi.org/10.7868/S3034640125020024.
    Kudryashov V.A. Assessment of radon manifestations in hydrothermal deposits of the Bystrinsky district of the Kamchatka Territory. *Environmental Geoscience* . 2025; 2: 19-34. (In Russ.). https://doi.org/10.7868/S3034640125020024.
17. Авдейко Г.П., Палуева А.А., Хлебородова О.А. Геодинамические условия вулканизма и магмообразования Курило-Камчатской островодужной системы. *Петрология*. 2006; 14 (3): 248-265.
    Avdejko G.P., Palueva A.A., Hleborodova O.A. Geodynamic conditions of volcanism and magma formation of the Kuril-Kamchatka island arc system. *Petrologiya.* 2006; 14 (3): 248-265. (In Russ.).
18. Максимовский В.А., Решетов В.В., Харламов М.Г. Карта радоноопасности России. Масштаб 1:10 000 000. Под ред. Смыслова А.А.. Москва; Санкт-Петербург, 1995: 1. Maksimovsky V.A., Reshetov V.V., Kharlamov M.G. Map of radon hazard in Russia. Scale 1:10,000,000. Ed. Smyslova A.A. Moscow; Saint Peterburg, 1995: 1. (In Russ.)
    Максимовский В.А., Харламов М.Г., Мальцев В.А. и др. Районирование территории России по степени радоноопасности. *Аппаратура и новости радиационных измерений*. 1996/97; 3 (9): 66-73.
    Maksimovskij V.A., Xarlamov M.G., Malcev V.A. et al. Zoning of the territory of Russia according to the degree of radon hazard. *Instruments and Radiation Measurements News (IRMN*). 1996/97; 3 (9): 66-73. (In Russ.)

20. Мостафа Ю.А. Средства воспроизведения единиц объемной и эквивалентной равновесной объемной активности радона: автореферат дис. Екатеринбург, 2019: 20.
Mostafa, Y. A. Instruments for Reproduction of Units of Volumetric and Equilibrium Volumetric Activity of Radon: Abstract of Dissertation … Cand. Phys. Math. Sci. Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin. Ekaterinburg, 2019: 20.

21. Наумова К.А. Эманации радона в сетевом природном газе в условиях города. *Энергия-2018: Тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: в 6 томах.* Иваново, 2018: 41.
Naumova K.A. Radon in engineering and environmental research for construction. Energy-2018: XIII International Scientific and Technical Conference for Students, Postgraduates and Young Scientists (2018, April 3–5). Ivanovo, Russia: Ivanovo State University. 2018: 41. (In Russ.).

22. Шарафудинов Ф.Г., Крамынин П.И. Проблемы экологии в связи с разработкой нефтяных и газовых месторождений (на примере Димитровского газоконденсатного месторождения). Труды Института геологии ДНЦ АН СССР. Махачкала, 1990; 41: 220-232.
Sharafudinov F.G., Kramynin P.I. Environmental problems related to the development of oil and gas fields (case study of the Dimitrov gas condensate field). *Proceedings of the Institute of Geology, Daghestan Scientific Center, Academy of Sciences of the USSR.* Maxachkala, 1990; 41: 220-232. (In Russ.).

23. Гулабянц Л.А., Заболотский Б.Ю. Плотность потока радона как критерий оценки радоноопасности. *Аппаратура и новости радиационных измерений*. 2004; 3 (38): 16-20.
Gulabyancz L.A., Zabolotskij B.Yu. Radon flux density as a criterion for assessing radon hazard. *Instruments and Radiation Measurements News (IRMN*). 2004; 3 (38): 16-20. (In Russ.).
Глинянова И.Ю., Асанова Н.В., Пономаренко В.С. и др. Экологическая безопасность территорий жилых комплексов с позиции исследования плотности потока радона. *Инженерный вестник Дона*. 2024; 7 (115). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-bezopasnost-territoriy-zhilyh-kompleksov-s-pozitsii-issledovaniya-plotnosti-potoka-radona.

24. Glinyanova I.Yu., Asanova N.V., Ponomarenko V.S., et al. Ecological safety of residential complex territories from the perspective of radon flux density research. *Engineering journal of Don.* 2024; 7 (115). (In Russ.). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-bezopasnost-territoriy-zhilyh-kompleksov-s-pozitsii-issledovaniya-plotnosti-potoka-radona.

25. Маренный А.М. Радон в инженерно-экологических изысканиях для строительства. *Аппаратура и новости радиационных измерений*. 2008; 2 (53): 21-27.
Marennyy A.M. Radon in engineering and environmental surveys for construction. *Instruments and Radiation Measurements News (IRMN)*. 2008; 2 (53): 21-27. (In Russ.).

26. Микляев П.С., Петрова Т.Б., Сидякин П.А. и др. Формирование радоновой обстановки в зданиях образовательных учреждений г. Лермонтова. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2025; 70 (2): 40-48. https://doi.org/10.33266/1024-6177-2025-70-2-40-48.
Miklyaev P.S., Petrova T.B., Sidyakin P.A., et al. Formation of a radon environment in the buildings of educational institutions in Lermontov. *Medical Radiology and Radiation Safety.* 2025; 70 (2): 40-48. (In Russ.). https://doi.org/10.33266/1024-6177-2025-70-2-40-48.

27. Андреев В.И., Карданова О.Ф., Словцов И.Б. и др. Источники радия (^{226}Ra) и причины вариаций объемной активности радона (ОА ^{222}Rn) в свободных газах гидротермально-магматических систем (на примере гидротермально-магматических систем, связанных с действующими вулканами Камчатки). Улан-Удэ. URL: https://textarchive.ru/c-2386221.html.
Andreev V.I., Kardanova O.F., Slovczov I.B., et al. Sources of radium (^{226}Ra) and causes of variations in the volumetric activity of radon (OA ^{222}Rn) in free gases of hydrothermal magmatic systems (using the example of hydrothermal magmatic systems associated with active volcanoes in Kamchatka). Ulan-Ude. (In Russ.). URL: https://textarchive.ru/c-2386221.html.

28. Кудряшов В.А. Оценка наличия радона в скважинах Эссовского геотермального месторождения (с. Эссо) Быстринского района Камчатского края. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023; 12: 22-43. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_12_17_22.
Kudryashov V.A. Assessment of the presence of radon in wells of the Essovskoye geothermal deposit (Esso village) Bystrinsky district of the Kamchatka Territory. *Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal*. 2023; 12: 22-43. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_12_17_22.

29. 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 гг. (с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на июнь1984 г.) (в двух томах): Т. 1.; Камчатское управление по использованию глубинного тепла земли. Петропавловск-Камчатский, 1987: 258.
Maltsev V. V., Zabarnyy G. N., Makhalkin Yu. L., et al. Summary report on the results of exploration work at the Anavgay geothermal deposit carried out in 1969–1984 (with an assessment of operational reserves as of June 1984) (in two volumes): Vol. 1. Petropavlovsk-Kamchatskiy, 1987. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Владимир Алексеевич Кудряшов *–*
канд. техн. наук, ведущий инженер научно-исследовательского отдела ФГБУН «Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация; e-mail: vladimirkudryasho@yandex.ru

Информация о статье
Поступила в редакцию: 29.06.2026
Поступила после рецензирования: 25.09.2026
Принята к публикации: 13.10.2026

ABOUT THE AUTHOR

Vladimir A. Kudryashov –
Cand. Sci. (Eng.), Leading Engineer of the Research Department FGBUN Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, (RGTC FEB RAS), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation; e-mail: nigtc@nigtc.ru

Article info
Received: 29.06.2026
Revised: 25.09.2026
Accepted: 13.10.2026