

Методика поиска радоновых вод (на примере участка Котокель)

Н.Е.АСТАХОВ, А.М.ПЛЮСНИН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН); 670047, г.Улан-Удэ, ул.Сахьяновой, д.6а), В.И.ГУНИН (Независимый коммерческий центр моделирования геосистем («МоГеос»); 670034, г.Улан-Удэ, проспект 50 лет Октября, 38,19)

Обследована территория, прилегающая к курортной зоне, на основе высокочувствительной эксхалиционной съемки, разработанной в институте. С помощью самонастраивающейся фильтрации, одного из способов статистической обработки информации, оконтурена площадная контрастная аномалия. Гидрохимическими исследованиями установлено, что в этом районе поверхностные воды обогащены относительно фона радона. В ручье с наиболее высокой концентрацией радона обнаружена разгрузка подземных вод. Пробуренная в этом месте скважина вскрыла трещинно-жильные радоновые воды с содержанием 370 Бк/л.

Ключевые слова: радон, эксхалиционная съемка, гидрогеохимия, активированный уголь, гамма-спектрометрия, самонастраивающийся фильтр.

Астахов Николай Егорович
Плюснин Алексей Максимович, plusnin@gin.bsnet.ru
Гунин Владимир Иванович

Methods of searching the radon water (on example of the Kotokel' site)

N.E.ASTANOV, A.M.PLYUSNIN, V.I.GUNIN

The area that is adjacent to the resort zone has been examined on the basis developed at the Institute of high-sensitivity exhalation surveys. The areal contrast anomaly has been contoured by adaptive filtration, one of the ways of statistic data processing. The hydrochemical studies have shown that the surface water is enriched with radon in this place. Groundwater discharge has been found in the creek with the highest content of radon. The well drilled on that site has revealed fracture-vein water with the content of radon 370 Bq/l.

Key words: Radon ekskhalyatsionnaya shooting, hydrogeochemistry, activated carbon, gamma spectrometry, self-tuning filter.

Проблема поисков радоновых вод до сих пор остается актуальной. В связи с изменившимися экономическими условиями возникла необходимость обнаружения их вблизи имеющейся инфраструктуры лечебных учреждений. Авторы данной публикации предприняли попытку поиска радоновых вод в районе оз.Котокель для нужд курорта «Сосновый бор». Для решения этой задачи были применены разработанные в Геологическом институте СО РАН эксхалиционная и гидрохимическая съемки территории, которые основаны на высокочувствительных методах определения радона в почвенном воздухе, поверхностных и подземных водах.

Эксхалиционный метод. Методика проведения эксхалиционной съемки заключается в установлении на точке наблюдений приемной кассеты с сорбирующим модулем, представляющим собой металлический сетчатый цилиндр, заполненный активированным углем. Кассета выдерживается на точке в течение 12—14 часов, после чего модуль извлекается из кассеты и помещается в полиэтиленовый футляр. Не менее чем через 3 часа после извлечения модуля из кассеты (время, необходимое для достижения практически полного равновесия между радоном и продуктом его распада — висмутом-214) измеряют его

активность на передвижной гамма-спектрометрической установке.

Расчет потока радона на точке наблюдений производится по формуле:

$$P(\text{мБк м}^{-2}\text{с}^{-1}) = \frac{J}{EA(e^{-\lambda t_2})(1 - e^{-\lambda t_1})},$$

где J — измеренная скорость счета (имп/мин) в аналитической области гамма спектра, характеризующаяся гамма-линией висмута-214 — 1,76 Мэв; λ — константа распада радона ($2,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$); t_1 — время накопления радона на точке наблюдений; t_2 — отрезок времени между снятием модуля из кассеты и измерением; E — калибровочный коэффициент для перевода измеренной скорости счета импульсов в активность радона; A — площадь приемной кассеты ($0,08 \text{ м}^2$).

Для получения калибровочного коэффициента был приготовлен эталонный модуль. Для этого в активированный уголь добавляли аликвоту образцового раствора радия, последующего высушивания и герметизации объема. Эталонный модуль выдерживался в течение 1 месяца, для накопления равновесного с радием количества радона.

Предел обнаружения радона на гамма-спектрометрической установке составляет 1 Бк, что при пересчете по указанной формуле позволяет оценить поток радона на уровне примерно $0,37 \text{ мБк м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ [2].

Определение радона в природных водах. Эманионный гидрохимический метод поисков урановой минерализации ориентирован в основном на изучение подземных вод. Методика измерения радона основана на переводе радона из пробы воды в эманионную камеру и последующем измерении альфа-активности на приборах типа «Радон» или РГА-01 [3].

Определение радона в поверхностных водах, где его концентрация 1 Бк/л и ниже, возникает необходимость отбора большеобъемных проб (1 л). Это делает прямой эманионный метод малопродуктивным, а при концентрациях ($0,2 \text{ Бк/л}$) практически неприменимым. Для измерения таких низких содержаний необходимо использовать методы концентрирования. Ранее был предложен метод, использующий сорбцию радона на активированный уголь, охлаждаемый до -60 С [6]. Но этот метод оказался мало пригодным для концентрирования радона в полевых условиях.

Авторами был использован способ концентрирования радона на большой объем активированного угля без охлаждения и последующее измерение его количества на гамма-спектрометрической установке. Установка для концентрирования радона состояла из барботера, осушителя, сорбирующего модуля, мембранного насоса и источника питания (аккумуляторная батарея). С помощью мембранного насоса через барботер, заполненный пробой воды, прокачивался воздух, который затем проходил по замкнутой цепи через осушитель и сорбирующий модуль. Эта процедура осуществлялась в течение 30 мин. Опытными работами установлено, что этого времени достаточно для практически полного выделения радона из пробы воды.

Определение содержания радона в отобранных пробах воды и сорбирующих модулях проводили на передвижной гамма-спектрометрической установке. При этом соблюдалось условие выдержки модулей для установления равновесия в ряду Rn^{226} - Pb^{214} - Bi^{214} .

Концентрация радона в пробе рассчитывалась по формуле:

$$C_{\text{Rn}} = \frac{J_{\text{пр}} Q_{\text{эт}}}{J_{\text{эт}} V e^{-\lambda t}},$$

где $J_{\text{пр}}$ и $J_{\text{эт}}$ — зарегистрированное количество имп/мин от пробы и эталона в аналитической области спектра; $Q_{\text{эт}}$ — активность радона в эталоне (Бк); V — объем пробы воды; λ — постоянная распада радона; t — время между окончанием пробоотбора или концентрирования радона и измерением.

Для калибровки использовались два эталона: жидкий эталон радия, изготовленный из аликвоты образцового раствора радия, и эталонный угольный мо-

дуль. Объем и геометрия эталонов полностью соответствовали аналогичным параметрам анализируемых проб и сорбирующих модулей.

Разработанная методика концентрирования позволяет измерять концентрацию радона в любых водных объектах (скважины, родники, мочажины, поверхностные водотоки). При опробовании вод из скважин и родников отбор производился в полиэтиленовые герметичные емкости объемом 250 см^3 . Мочажины и поверхностные водотоки опробовались путем концентрирования радона из проб воды объемом 10 л. Этого объема воды достаточно для достижения необходимого предела обнаружения.

Проведенные на ряде рудных объектов испытания показали хорошую эффективность метода в обнаружении скрытого оруденения. Выявленные аномалии радона в поверхностных водах (10 — 20 Бк/л на фоне $0,1$ — $2,0 \text{ Бк/л}$), как правило, оказались обусловлены разгрузкой в ручьи подземных вод, связанных с разрывными нарушениями [5].

Полученные результаты. На перспективном для обнаружения радоновых вод участке, сложенном гранитами баргузинского комплекса палеозоя и гнейсами, сланцами, амфиболитами протерозоя по сети $100 \times 20 \text{ м}$ проведено около 1700 измерений эксхалций радона и опробовано 46 водопунктов, представленных скважинами, родниками, мочажинами и поверхностными водотоками.

На основании распределения частот встречаемости в разряд фоновых отнесены значения эксхалции радона более чем 85% всех наблюдений потока эманиции (табл. 1). Фоновые значения разделяются на две составляющие: низкофоновые, приуроченные преимущественно к площади развития пород протерозоя, и повышенного фона, встречающиеся в основном на площади распространения гранитоидов баргузинского комплекса.

В отличие от фоновых значений, распределение которых на исследуемой площади носит площадной характер, слабоконтрастные эксхалционные аномалии интенсивностью $7,4$ — $18,5 \text{ мБк м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ имеют в основном вид линейно вытянутых в субширотном направлении узких зон шириной 20 — 60 м . В пределах этих зон

1. Распределение значений эксхалции радона на исследуемом участке

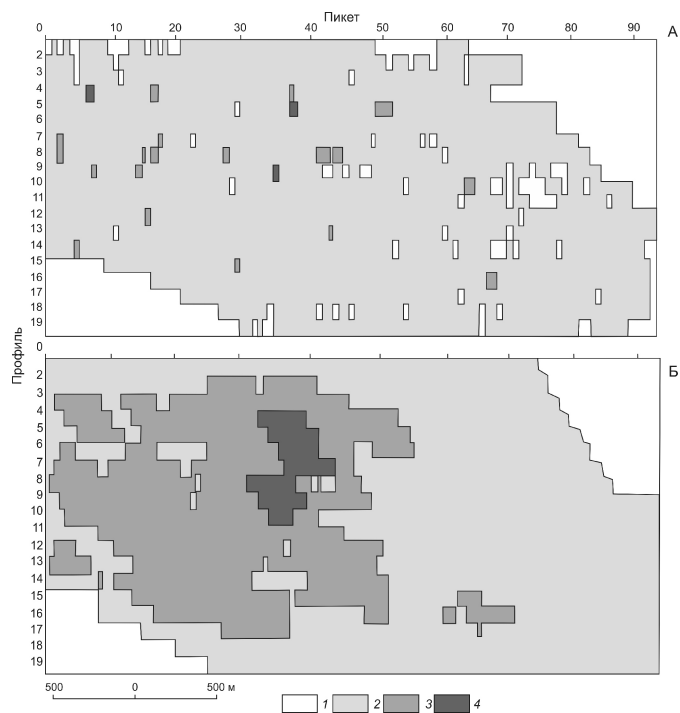
Характер распределения	Поток радона, $\text{мБк м}^{-2} \text{ с}^{-1}$	Количество точек наблюдения, %
Низкий эксхалционный фон	$1,7 \pm 1,4$	36,3
Повышенный эксхалционный фон	$3,6 \pm 1,7$	49,1
Слабоконтрастные аномалии	$7,4$ — $18,5$	12,6
Контрастные аномалии	$>18,5$	2,0

выявлено 23 контрастные аномалии интенсивностью от 18,5 до 96,2 мБк м²с⁻¹. Шестнадцать из них точечные, шесть — линейные, зарегистрированные на профилях одноточечными наблюдениями и коррелируемые между двумя профилями, и лишь одна — площадная, коррелируемая между тремя профилями. Ширина ее в центральной части ~50 м.

По результатам эксхалационной съемки построена карта распределения радона на исследованной площади (рисунок, А). Видно, что какой-либо четкой картины распределения аномальных эмонаций по площади не наблюдается. Для усиления роли слабых аномалий проведена обработка данных способом самонастраивающейся фильтрации. Как показывает опыт этот способ очень эффективен для выделения слабых аномалий на фоне интенсивных помех. Подробное описание этого метода дано в работах [1, 4]. Авторами использована программа самонастраивающейся фильтрации, написанная на языке программирования Fortran, которая была дополнена подпрограммами ввода-вывода и графическим представлением результатов. Полученный пакет программ был настроен и отлажен с помощью 32-х битового транслятора F32, имеющего высокий уровень оптимизации, и, позволяющего получать модуль, работающий на любых персональных компьютерах. Адаптация пакета к конкретным условиям проведена на имеющихся фактических и литературных материалах. Для рассматриваемых результатов были подобраны условия для способа самонастраивающейся фильтрации, которые удовлетворяют требованиям для проведения статистической обработки. Результаты обработки полученных значений потоков радона представлены на рисунке, Б. После статистической обработки отчетливо проявилось аномальное поле в районе профилей (пр.) 5—11 и пикетов (пк.) 39—50.

В результате проведения геологических маршрутов в пределах выявленного аномального поля, сопровождаемых поверхностными и шпуровыми измерениями гамма-фона, а также изучения разрезов в канавах установлено, что повышение гамма-активности рыхлых образований обусловлено механическими ореолами рассеяния, представленными дезинтегрированными продуктами выветривания даек и небольших по мощности тел пегматитов, содержащих уран до 100 г/т. По данным минералогических исследований урановая минерализация оказалась сосредоточена в цирконах, а также в уран-ториевых танталониобатах — минералах группы фергусонита, достаточно устойчивых в зоне гипергенеза, о чем свидетельствует отсутствие аномальных концентраций урана в подземных водах.

Одна из точечных контрастных (96,2 мБк м²с⁻¹) аномалий на пр. 10, пк. 84 была продетализирована традиционным шпуровым эмонационным методом с прибором РГА-01. В результате детализации удалось оконтурить аномалию, протяженностью около 50 м и



Распределение измеренной эксхалации (А) и поле эксхалации радона после статистической отработки методом самонастраивающейся фильтрации (Б) на участке Котокель:

относительные значения поля, приведенные к единице:
1 — 0,001; 2 — 0,1—0,4; 3 — 0,5—0,8; 4 — 0,9—1,0

шириной 3—5 м. Аномалия была приурочена к слабопроявленной в рельефе складке, расположенной у подножья склона южного борта Березовой пади. Для выяснения природы этой аномалии на пр. 10 пк. 84 произведено послойное обследование с отбором проб (через 5 см) рыхлых образований на глубину 0,7 м. Гамма-спектрометрический анализ отобранных проб показал, что до глубины 0,55 м содержания урана не превышают фоновых значений (3,2—4,2 г/т) и лишь на глубине 0,55—0,70 м отмечается небольшое повышение до 5,0—6,2 г/т. Повышенные концентрации радона в почвенном воздухе обязаны своим происхождением подвижной форме нахождения урана, равномерно сорбированного рыхлыми образованиями.

Результаты исследования концентрации радона в водах территории приведены в табл. 2.

В районе расположения аномальной площади был опробован ручей Березовый (пр.10, пк.56), где содержание радона 1,6 Бк/л, что для поверхностных водотоков является повышенным. В результате детального обследования в долине этого ручья был обнаружен родник 2 (пр.14, пк.50), содержание радона в котором по результатам режимных наблюдений, колеблется в пределах 111—259 Бк/л. В районе этого родника про-

2. Содержание радона в поверхностных и подземных водах

Водопункт	Число точек наблюдения	Содержание радона,
		$\frac{\text{Минимум}}{\text{Максимум}}$, Бк/л
Источники подземных вод	8	$\frac{6,2—259}{56,1}$
Мочажина	13	$\frac{0,3—4,0}{0,45}$
Поверхностный водоток	25	$\frac{0,04—2,48}{0,17}$

бурена скважина, которая вскрыла трещинно-жильные воды с содержанием радона в воде 370 Бк/л.

В этом месте эксхалация радона связана с трещинной обводненной зоной. В трещинах обнаружены примазки урансодержащих гидроксидов железа, представленные мелкими скоплениями. В коренных породах (граниты) выделяется зона, интенсивно пропитанная отложениями гидроксидов железа. По всей вероятности железо поступило из магнетита, широко распространенного во вмещающих породах, где наблюдаются его зерна размером до 1—2 мм и видны каверны выщелачивания. Локальный по ширине характер эксхалационных аномалий радона, вытянутость их вдоль направлений, хорошо согласующихся с основными направлениями тектонических структур, отсутствие пространственной корреляции с аномальными концентрациями урана в поверхностных рыхлых образованиях, позволяет говорить о природе аномалий в подземных водах, которая обусловлена, вероятно, миграцией радона к поверхности по зонам эндогенной трещиноватости.

В представленном исследовании ставилась задача обоснования комплекса методов поисков, достаточных для выявления источников эманации радона. Как показали проведенные работы скрытые источники эманации на участке «Котокель» проявляются на поверхности преимущественно аномалиями эксхалации радона, обусловленными конвективным переносом его по зонам экзогенной трещиноватости. Использование методов статистической обработки полученных данных позволяет вычленить слабоконтрастные аномалии и обосновать участки для проведения детальных работ. На участках с аномальным потоком радона поверхностные воды содержат его повышенные концентрации, которые могут быть зафиксированы современными методами анализа. Детальное обследование поверхностных водотоков с проведением мониторинга содержания радона позволяет выявлять участки, на которых происходит разгрузка трещинно-жильных вод и обосновывать участки для проведения буровых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахромеев Г.С., Давыденко А.Ю. Моделирование в разведочной геофизике. —М.: Недра, 1987.
2. Гофман А.М. Метрологические параметры лабораторного гамма-спектрометрического метода анализа // Геохимия радиоактивных элементов и золота Забайкалья. —Новосибирск: Наука, 1979. С. 7—21.
3. Гудзенко В.В., Дубинчук В.Т. Изотопы радия и радон в природных водах. —М.: Наука, 1987.
4. Никитин А.А. Статистические методы выделения геофизических аномалий. —М.: Недра, 1979.
5. Плюснин А.М., Астахов Н.Е., Перевалов А.В., Тайсаев Т.Т. Потоки рассеяния урана и сопутствующих элементов над гидрогенными U-рудными телами, перекрытыми покровом базальтов (на примере Хиэгдинского месторождения) // Геохимия. 2005. № 7. С. 763—771.
6. Сердюкова А.С., Капитанов Ю.Т. Изотопы радона и продукты их распада в природе. Изд. 2-е. —М.: Атомиздат, 1975.