ГАЗОВОЕ ДЫХАНИЕ ЗЕМЛИ

В. И. УТКИН

Уральский профессионально-педагогический университет

GASEOUS BREATH OF EARTH

V. I. UTKIN

The problems connected with radioactive gases (helium, radon, argon-40), uranium fission products, thorium and potassium-40 isotope generated by earth crust are examined. The relation between fundamental research of fault tectonics of Earth, its thermal and global evolution and applied problems of geological environment ecology are shown. Examples of resolving concrete ecological problems for every radioactive gas are demonstrated.

Рассмотрены проблемы, связанные с генерацией земной корой радиогенных газов (гелия, радона, аргона-40), продуктов распада урана, тория и изотопа калий-40. Показана связь фундаментальных исследований по изучению разломной тектоники Земли, термической эволюции Земли и глобальной эволюции планеты с прикладными задачами по экологии геологической среды. Приведены примеры решения конкретных экологических задач для каждого из радиогенных газов.

© Уткин В.И., 1997

ВВЕДЕНИЕ

Земля как космическое тело представляется состоящей из твердой оболочки, частью покрытой водами океанов, которая иногда разрывается вулканами, генерирующими громадное количество вулканических газов. Но Земля – генератор и других газов, которые являются продуктами распада естественных радиоактивных элементов (урана, тория, калия) и несут важнейшую информацию о недрах планеты, состоянии массивов в верхней части земной коры и геоэкологической обстановке.

Уран и торий в процессе распада генерируют альфа-частицы, которые есть не что иное, как ядра элемента гелия. Ежегодно во всех геосферах в результате радиоактивного распада, по различным оценкам, образуется от 2000 до 5000 т гелия. Практически весь гелий, имеющийся в атмосфере Земли, накопился в результате радиоактивного распада урана и тория за 4,5 млрд лет существования Земли. Среднее время жизни гелия в атмосфере нашей планеты до того, как он диссипирует в космическое пространство, составляет 107 лет. Поэтому количество его в атмосфере определяется балансом поступления из недр и диссипацией в космос. Промежуточным продуктом распада урана является радиоактивный газ радон, который, в свою очередь, также генерирует в процессе распада ядра гелия (альфа-частицы).

Большая доля в естественной радиоактивности принадлежит одному из изотопов калия (калий-40). Содержание этого изотопа в естественной смеси невелико (0,012%), однако вклад его в естественный фон излучения может достигать 30%. Калий-40 генерирует в процессе распада атомы газа аргона, а именно его изотопа аргон-40, который составляет основную часть аргона в атмосфере (0,93%).

Гелий, радон и аргон-40, являясь газами радиогенного происхождения, составляют важнейшую часть газового дыхания Земли, которое несет информацию о процессах в верхней части земной коры, о геоэкологической обстановке в данном регионе. На важность изучения радиогенных газов указывал еще В.И. Вернадский, который и предложил красивый образ – “газовое дыхание Земли”. Однако интенсивное развитие этого научного на-правления началось с изучения потоков гелия из недр Земли в зонах разломов [1]. В дальнейшем оказалось, что исследования радиогенных газов дают важную информацию, которая дополняет наши знания в геологии, геофизике и экологии [2, 3]. Рассмотрим некоторые новые, нетрадиционные приложения

газовых методов исследований по каждому из радиогенных газов в отдельности.

ГЕЛИЙ

Вся поверхность нашей планеты покрыта тектоническими разломами, которые определяют блоковое строение земной коры. Разломы могут быть непроницаемыми (“залеченными”) и проницаемыми. Последние, как правило, являются мощными каналами, по которым гелий мигрирует к поверхности Земли, чаще всего вместе с растворами, циркулирующими в зоне разломов. Поэтому тектонические разрывные нарушения, особенно глубинные разломы, фиксируются повышенными концентрациями гелия, растворенного в подземных водах. Это относится и к разломам в верхней части земной коры, даже в тех случаях, когда разломы перекрыты мощным чехлом других отложений. Ввиду большой проникающей способности гелия гелиевая съемка позволяет выявлять скрытые, практически не проявляющиеся на поверхности и соответственно не всегда выделяемые по данным геологии глубинные разломы. Поскольку по разломам возможен наиболее интенсивный вынос глубинного вещества, данные о проницаемости разломов могут быть очень важны для прогноза новых зон и поясов рудных месторождений. Поэтому выявлению и трассированию разломов земной коры традиционно уделяется большое внимание в современной геологии и геофизике.

Мощным средством исследования структуры земной коры, в том числе и выявления разломов, являются сейсмические методы. Поэтому интересно провести сопоставление данных сейсмических исследований и гелиевой съемки [1]. В качестве примера на рис. 1 представлены эти данные, полученные по профилю, проходящему через Средний Урал в 45 км южнее Екатеринбурга от Ижевска через Красноуфимск, Камышлов на Ишим. Данные сейсмического зондирования показывают сложную структуру строения верхней части земной коры при переходе от Предуралья через складчатый Урал в Зауралье. Отчетливо отмечаются основные границы древнего фундамента, поверхность Мохоровичича, а также фиксируются основные глубинные разломы. На указанном участке по данным сейсмических исследований определено 26 глубинных разломов, 22 из которых четко выделено по данным гелиевой съемки. Содержание гелия в подземных водах в районе разломов колеблется от 0,01 до 0,04 об. %. Исключение составляет разлом, расположенный восточнее д. Шатрово, где содержание гелия

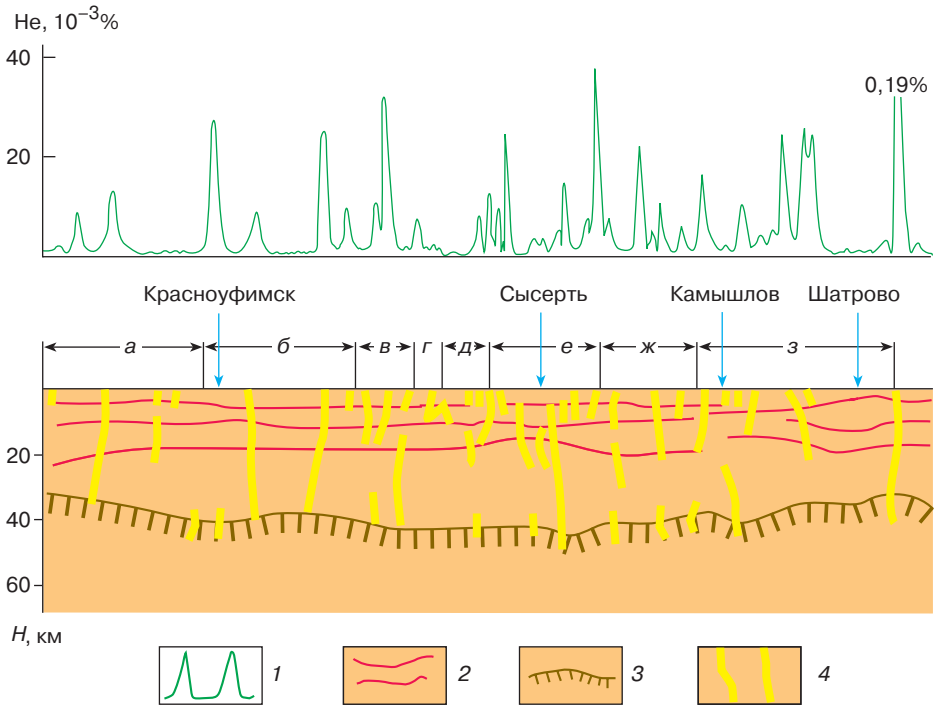

Рис. 1. Результаты гелиевой съемки и сопоставление их с данными сейсмических методов: *а* – восточная часть Русской платформы; *б* – Предуральский прогиб; *в* – Западно-Уральская зона складчатости; *г* – Центрально-Уральское поднятие; *д* – Тагило-Магнитогорский прогиб; *е* – Восточно-Уральское поднятие; *ж* – Восточно-Уральский прогиб; *з* – Зауральское поднятие; *1* – график концентрации гелия в подземных водах, *2* – основные отражающие границы по данным сейсмических методов исследования, *3* – граница поверхности Мохоровичича, *4* – разрывные нарушения земной коры по данным сейсмических методов

составляет 0,19%. Это объясняется пересечением зон двух разломов: широтного и меридионального направлений, что приводит к аномально высокому содержанию гелия в подземных водах. Вместе с тем некоторые разломы, выявленные по данным сейсмических работ, не находят отражения в данных гелиевой съемки. Это свидетельствует о малой проницаемости данных разломов. Соответственно в таких зонах отсутствует вынос вещества на поверхность, что связано, как правило, с предыдущей геологической историей разлома, когда вещества, выносимые циркулирующими по нему растворами, постепенно заполнили и зацементировали все трещины и каналы в зоне разлома.

Важным следствием обнаруженного эффекта является то, что гелиевая съемка, выделяя проницаемые зоны в верхней части земной коры, дает ценную информацию о возможности обратного процесса, а именно о возможности распространения поверхностных вод в подземные водные бассейны.

Описанные результаты исследований по гелиевой съемке были положены в основу работ по изучению возможности проникновения загрязненных вод по зонам тектонических разломов [3]. Очевидно, что токсичные воды промышленных отстойников могут проникать в подземные воды только через проницаемые зоны разломов. Причем проникновение токсичных вод часто не может быть обнаружено непосредственно вблизи этих водоемов, так как загрязненные воды через зоны разломов могут проникать глубоко под землю и выноситься за много километров от источника загрязнения, попадая в реки и водоемы, которые по своей гидрогеологической структуре связаны с этой же проницаемой зоной. Типичный пример описанной ситуации представлен на рис. 2.

Водоем-отстойник промышленных вод расположен на пересечении двух локальных тектонических нарушений (разломов). При строительстве данного отстойника не было произведено необходимых изыскательских работ, поэтому указанные на рис. 2 разломы I-I и II-II были обнаружены по данным геологии и трассированы геофизическими методами уже после заполнения отстойника. Однако проведенные стандартные геологические и геофизические работы не дали ответа на главный вопрос: проницаемы ли данные зоны разломов, какова вероятность проникновения токсичных вод под землю и попадания их в водоносные горизонты?

Гелиевую съемку проводили по четырем профилям: А-А, Б-Б, В-В и Г-Г. Данные съемки показали, что разлом I-I практически непроницаем. Аномальных содержаний гелия при пересечении данного разлома (профили Б-Б и Г-Г) обнаружено не было. Два других профиля гелиевой съемки, проведенные ниже плотины водоема, показали повышенное (в 4–5 раз) содержание гелия в приповерхностных водах, что свидетельствует о высокой проницаемости

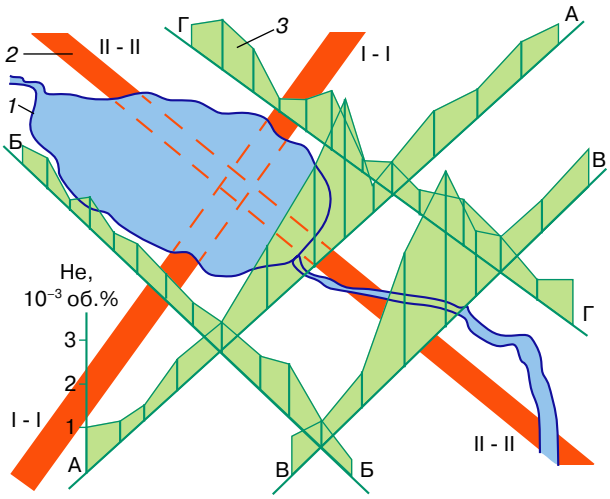

Рис. 2. Результаты гелиевой съемки в районе отстойника токсичных промышленных вод: *1* – границы водоема, *2* – тектонические разломы, выделенные по данным геологических и геофизических работ, *3* – результаты гелиевой съемки по заданным профилям

зоны данного разлома и возможности проникновения токсичных растворов в подземные воды. Данные анализа вод речки, вытекающей из отстойника, показали, что максимальное заражение воды наблюдается на расстоянии 5 км от плотины при повторном пересечении руслом речки разлома II-II. Следовательно, загрязненные воды под действием гидростатического давления попали по зоне разлома в подземный поток и двигались по зоне разлома вместе с ним до пересечения с руслом реки. На основании сделанного заключения были проведены работы по гидроизоляции дна отстойника. Таким образом в арсенале экологических исследований появился новый метод, позволяющий давать экспертную оценку геологическим условиям при проектировании и строительстве искусственных водоемов, отстойников промышленных вод и других подобных сооружений.

АРГОН-40

Не меньшее значение для целей геологии и геоэкологии имеет и другой газ – аргон-40, продукт распада радиоактивного изотопа калий-40. Изменение химического состава земной коры с глубиной вызывает и изменение соотношения концентраций в глубинных водах гелия и аргона-40. Это дает возможность оценить тектоническую глубину разломов, а также прогнозировать в некоторых случаях перспективность исследуемого района на полезные ископаемые.

Измерение концентрации аргона-40 в подземных водах позволяет решить одну из важнейших экологических проблем, а именно контроль целостности

водозащитной толщи на рудниках, добывающих калийную соль. Аргон-40 как продукт распада калия-40 вследствие своего специфического происхождения является в данном случае идеальным индикатором [4].

В 1995 году в районе Соликамска произошло тектоническое землетрясение средней силы (магнитуда около 5), которое вызвало подвижки верхних слоев земной коры. Условное геологическое строение данного района представлено на рис. 3, *а*. Как правило, мощный (на глубине более 100 м) слой калийных солей, который обычно и разрабатывается, перекрыт чередованием прослоев глины и тонких пластов тех же калийных солей. Выше верхнего слоя глинистых отложений обычно расположен водоносный горизонт, приуроченный к песчанникам, и далее сверху все замыкается карбонатными породами, которые условно назовем известняками.

Опасность состоит в том, что при разрушении верхнего водозащитного слоя (глинистые отложения) подземные воды достигают залежи калийных солей, размывают их и, если последующие водозащитные слои также нарушены, подземные воды могут достичь разрабатываемого пласта калийных солей, размыть его и затопить шахту. Поэтому важно не только следить за смещением водозащитной толщи при современных тектонических процессах, но и контролировать состояние этой водозащитной толщи, ее целостность. Для такого контроля, как уже говорилось, оптимально изучение содержания аргона-40 в подземных водах, протекающих над залежами калийных солей.

Отличие аргона от других газов, например водорода и метана, которые растворены в калийных солях и выделяются из них только при растворении соли в воде, состоит в том, что аргон-40 как инертный газ не связывается молекулами соли, диффундирует вверх к нижней поверхности водозащитной толщи, где возникает избыточное (относительно массива калийных солей) давление, если не нарушена сплошность глинистых отложений.

Изучение концентрации аргона в подземных водах имеет свои особенности. Дело в том, что в эти воды всегда привносится с поверхности Земли атмосферный аргон, содержание которого в атмосфере составляет 0,93 об. %. Однако атмосферный аргон повсеместно имеет определенное соотношение

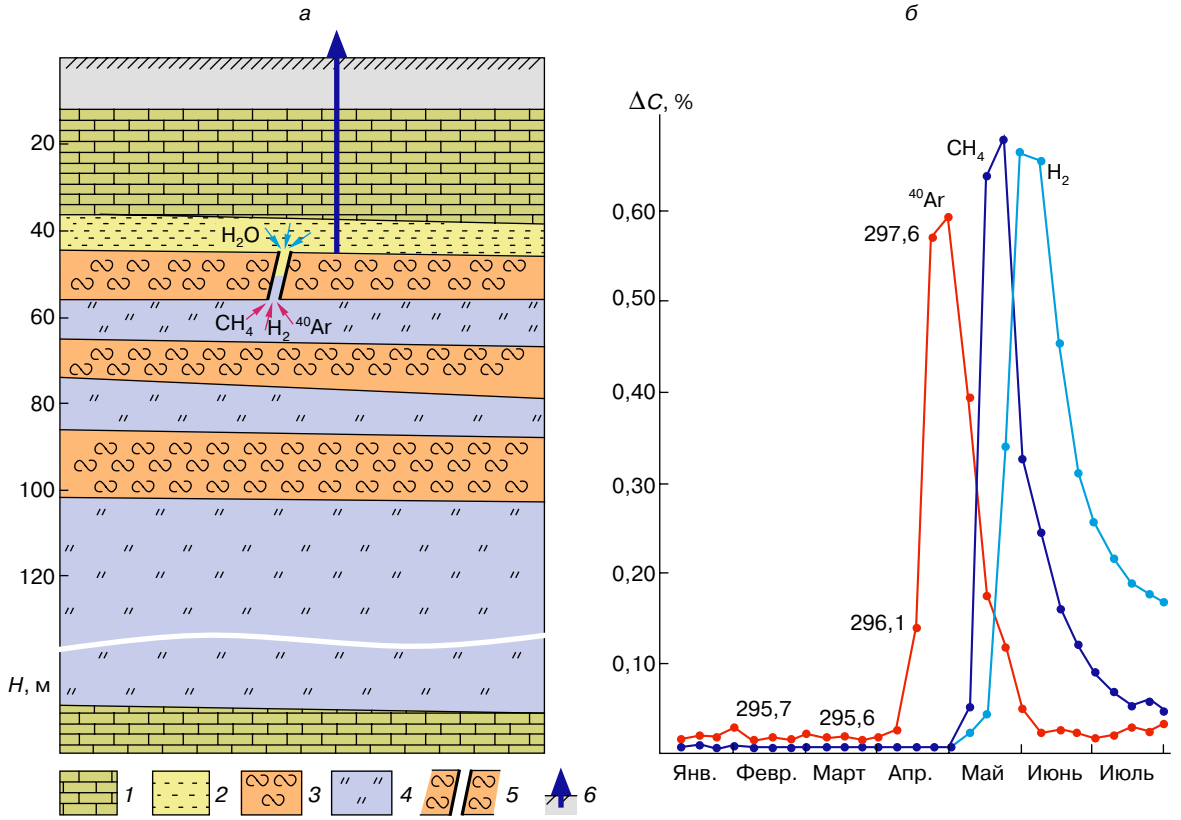

Рис. 3. Результаты исследования целостности водозащитной толщи месторождения калийных солей: *а* – усредненный геологический разрез месторождения: *1* – известняки, *2* – песчанник, *3* – глинистые отложения, *4* – залежи калийных солей, *5* – разрыв водонепроницаемого пласта, *6* – наблюдательная скважина; *б* – данные газовой съемки

концентрации изотопов аргон-40 и аргон-36, которое для нашей геологической эпохи равно 295,6. В процессе радиоактивного распада калия-40 генерируется только изотоп аргон-40, поэтому при нарушении водозащитной толщи должен наблюдаться сдвиг изотопного соотношения, что и позволяет определить наличие радиогенного аргона в подземных водах. Причем повышение концентрации аргона-40 на 0,003 об. % от его среднего содержания вызывает изменение изотопного соотношения на одну единицу (до 296,6), что четко фиксируется при масс-спектрометрическом анализе газовой пробы. Указанная методика исследований была применена с целью исследования последствий тектонического землетрясения. Результаты измерений представлены на рис. 3, *б*.

Как видно из графиков на рис. 3, *б*, с января по март в подземных водах наблюдалось постоянное, в пределах погрешности измерений (±0,1%), изотопное отношение аргон-40/аргон-36, типичное для атмосферного воздуха (295,6 ± 0,25). Содержание метана и водорода не превышает погрешности измерений (±0,01%) за период с января по май.

Однако с апреля начинается изменение изотопного отношения, максимум которого достигается в мае. При этом соответственно содержание аргона-40 увеличивается на 0,58%. Постепенно величина изотопного отношения аргона возвращается к исходному состоянию (июнь). Начиная с мая в подземных водах наблюдательной скважины появляются метан и водород, которые выделяются из калийных солей по мере их растворения. Концентрации метана и водорода в подземных водах увеличиваются относительно первоначального уровня более чем в 60 раз и достигают величин больших, чем дополнительное увеличение концентрации радиогенного аргона. Уменьшение концентраций метана и водорода во времени медленнее, чем наблюдаемое уменьшение концентрации аргона. Указанные измерения позволяют смоделировать процесс разрыва водозащитной толщи следующим образом.

Вследствие тектонического землетрясения постепенно разрушился первый слой водозащитной толщи, что привело сразу же к появлению дополнительного радиогенного аргона-40 в подземных водах. Затем происходил размыв первого нерабочего прослоя калийных солей, что вызвало выделение метана и водорода, растворенных в этих солях. Дальнейшее развитие процесса приостановилось. В настоящее время аргоновый метод контроля взят на вооружение экологическими службами рудников на месторождениях калийных солей.

РАДОН

Роль радона в экологии двояка. С одной стороны, это радиоактивный газ, который вследствие специфических особенностей (без цвета и запаха, время полураспада 3,8 дня, мощный альфа-излучатель) представляет собой опасность для людей, особенно проживающих на нижних (первом и втором) этажах. Радон проникает в помещения, как и гелий, по проницаемым зонам земной коры. Кроме того, радон может генерироваться строительными материалами при достаточно больших содержаниях в них урана и тория. С другой стороны, радон из-за специфических особенностей является оптимальным индикатором при различных геологических и геотехнических исследованиях. Во-первых, радон, является радиогенным газом и как продукт распада уран-радиевого ряда непрерывно генерируется в горных породах в процессе радиоактивного распада. Он всегда присутствует в любом горном массиве, и уменьшение его концентрации, например, за счет диффузии из массива в воздух постоянно компенсируется новой генерацией радона. Во-вторых, диффузия радона в горном массиве и его выделение с поверхности почвы определяются эффективным коэффициентом диффузии, который зависит от многих факторов. Наиболее важными из них являются пористость, проницаемость и трещиноватость. Эти свойства среды существенно зависят от напряженно-деформированного состояния массива. Очевидно, что при сжатии массива проницаемость его снижается, а при разгрузке увеличивается. Соответственно изменяется эффективный коэффициент диффузии. Следовательно, динамические изменения концентрации радона в приповерхностном слое почвы будут отражать динамические изменения напряженно-деформированного состояния горного массива в значительном объеме.

Рассмотрим последовательно оба данных аспекта с точки зрения геоэкологии.

Радон – источник радиационной опасности

Обеспечение радоновой безопасности – одна из важнейших проблем экологии, которая активно обсуждается в последние два десятилетия. Исследованиями последних лет надежно установлено, что более 60% дозы ионизирующего излучения на человека в год приходится от естественных природных источников излучения [5], при этом более 50% облучения обусловлено радоном и продуктами его распада. Поэтому проблема радиационной безопасности жилищ интенсифицировала исследования во многих странах в последние годы. Установлено, что концентрация радона в воздухе жилых помещений изменяется в широких пределах – от нескольких десятков до десятков тысяч единиц Бк/м^3. Учитывая возможно большие дозы облучения человека за счет радона и дочерних продуктов его распада, превышающие в отдельных случаях в 2–3 раза предельно допустимые, во многих странах установлены нормативы величины среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе помещений [6]. В среднем эти нормы колеблются в пределах от 100 до 200 Бк/м^3.

Исследованиями также установлено [7], что источниками радона в воздухе помещений служат главным образом геологическое пространство под зданиями, строительные материалы, из которых построено здание, используемые воды и бытовой газ. В различных районах влияние каждого фактора имеет свои особенности, которые зависят от геологического строения, включая распределение содержания естественных радиоактивных элементов в породах, почвах и подземных водах, наличия тектонических разломов и других причин.

Проведенные к настоящему времени в России и за рубежом работы (например, [8]) показали, что принятие мер по ограничению облучения населения целесообразно проводить при районировании территории по уровню содержания естественных радиоактивных элементов и степени радоноопасности. Такое районирование территории бывшего СССР впервые выполнено российскими геофизиками и представлено на рис. 4 [9]. На данной схеме условно выделены потенциально опасные по радону районы. Прямыми критериями потенциальной радоноопасности площадей являются аномально высокие концентрации радона в выходах минерализованных вод и радия в подземных водах нефтеносных бассейнов, участки с отстойниками нефтяных вод, наличие аномальных концентраций в жилых и производственных помещениях. К косвенным критериям радоноопасности относятся области современных землетрясений и зоны активных тектонических разломов земной коры. К потенциально опасным отнесены также районы преимущественного развития горных пород с повышенным или слабоповышенным содержанием урана и радия и уровнем накопления радона. Схема, приведенная на рис. 4, впервые позволяет провести количественные расчеты коллективной эквивалентной дозы, получаемой населением за счет радона в течение года.

Анализ данных материалов должен обязательно учитываться при оценке риска радиационной опасности на производстве и в бытовых условиях. В частности, необходим тщательный учет возможного накопления радона в существующих жилых и производственных зданиях, а при строительстве новых объектов следует проводить опережающее изучение концентрации радона в почвенном воздухе (или потока радона из почвы). Новый подход к данной проблеме, вероятно, позволит исключить из практики такие случаи, как полный перенос жилого поселка на новое место (пос. Акчатау, Джезказганская обл., Казахстан) или полная перестройка завода по производству больших интегральных схем (Франция).

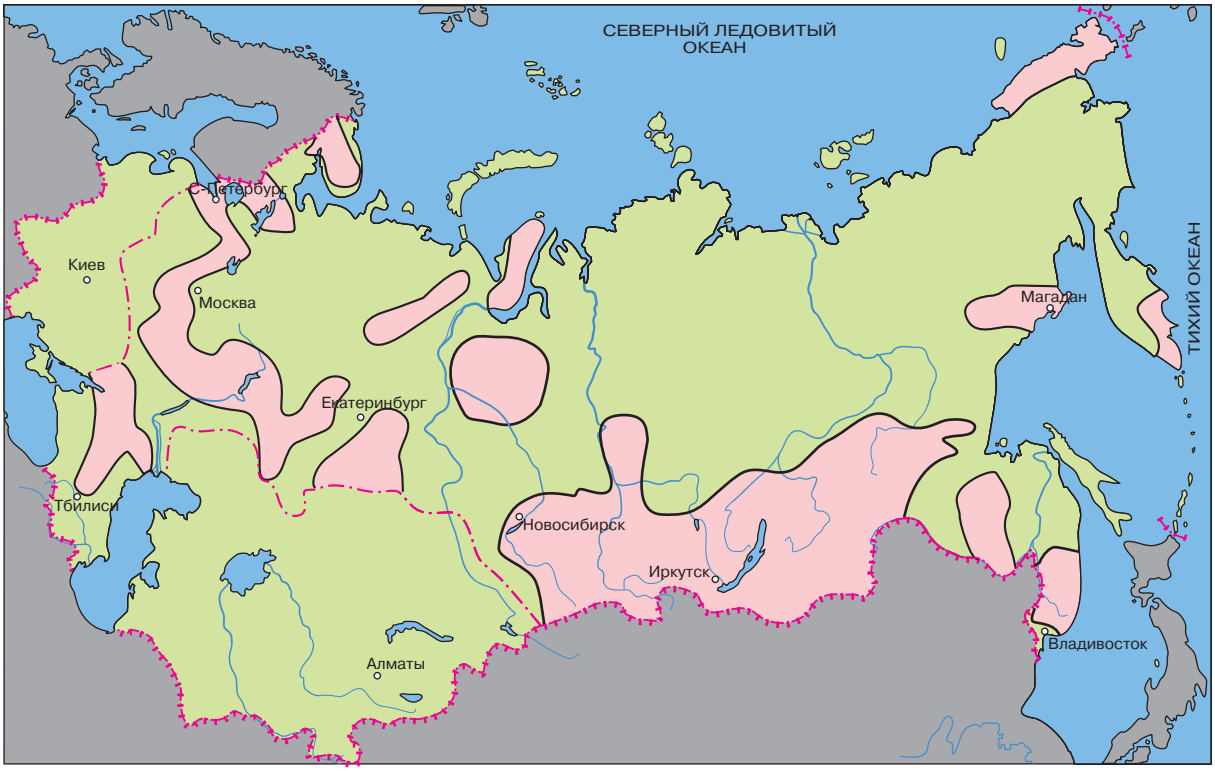

Рис. 4. Схема районирования России по потенциальной радоноопасности. Розовым цветом обозначены районы потенциальной опасности по радону для населения

Радон – индикатор напряженного состояния горного массива

Новые данные по исследованию другого аспекта радоновой проблемы – радон как индикатор напряженного состояния горного массива привели к обнаружению нового эффекта в распределении концентрации радона при изменении напряженно-деформированного состояния горного массива [10–12]. Исследования в этом направлении проводили на Североуральском бокситовом руднике в связи с проблемой горных ударов, которые можно охарактеризовать как локальные землетрясения техногенного происхождения. В шахтах на глубинах от 300 до 600 м производили измерения концентрации радона в коротких скважинах, пробуренных в стенках шахты, а также в воздухе шахты. Результаты измерений показали следующее (рис. 5). Концентрация радона в воздухе шахты практически не изменяется и не несет информации об изменении напряженного состояния среды (рис. 5, *1*). Кривая изменения концентрации радона в наблюдательной скважине работающей шахты (рис. 5, *2*) имеет характерные большие мгновенные флуктуации при постоянном ее среднем значении. Такой вид кривой определяется не столько геологическими, сколько техногенными факторами – микросейсмическими воздействиями за счет движения шахтового транспорта, взрывов для добычи руды, бурения и т.д. Эти воздействия вызывают дополнительное образование микротрещин в горном массиве и соответственно приток радона в наблюдательную скважину.

В скважине, пробуренной в районе рабочего забоя (рис. 5, *2*), где наиболее часты горные удары, за 1–20 ч до момента горного удара наблюдалось уменьшение мгновенных флуктуаций, затем резкое уменьшение концентрации радона, а после горного удара – рост измеряемой концентрации радона и восстановление ее до исходного состояния.

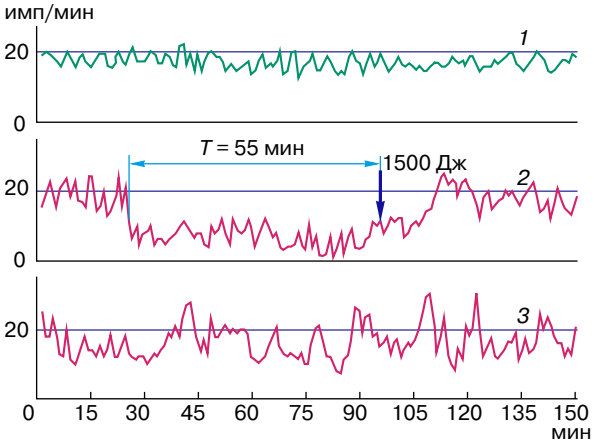

Рис. 5. График непрерывных измерений концентрации радона в шахте на глубине 350 м: *1* – воздух шахты, *2*, *3* – наблюдательная скважина, пробуренная в массиве известняка, стрелкой показан момент горного удара, указана его энергия

Интересное явление наблюдается при наложении процессов подготовки горного удара и взрывной отработки рудного массива (рис. 6). На графике видно, что взрыв в забое вызывает эффект, аналогичный горному удару, – увеличение концентрации радона в наблюдательной скважине после взрыва. Однако, как показывают результаты измерений, взрыв не мог снять полностью напряженное состояние горного массива. Через 30 мин после взрыва концентрация радона стала вновь уменьшаться, и через 30 мин произошел довольно мощный (2600 Дж) горный удар. Вероятно, без взрыва процесс пошел бы по другому пути.

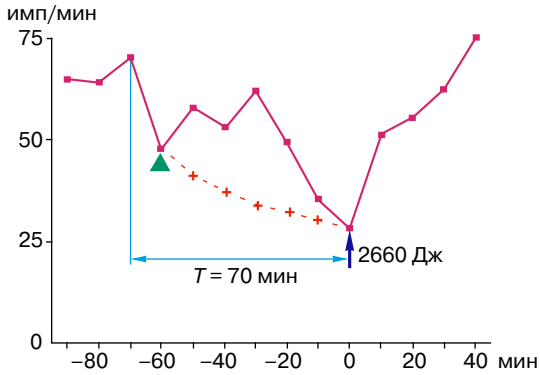

Рис. 6. График изменения концентрации радона в наблюдательной скважине, расположенной в ближней по отношению к будущему эпицентру горного удара зоне. Треугольником показан момент взрывной отпалки руды, стрелкой – момент горного удара, указана его энергия, пунктирной линией – возможный ход процесса при отсутствии промышленного взрыва

Таким образом, вблизи будущего эпицентра горного удара наблюдается заметное снижение концентрации радона, которое предшествует горному удару за 1–20 ч. Указанный процесс характерен для расстояний до 100 м от очага будущего горного удара. Эту зону условно будем называть ближней.

В дальней зоне, на расстояниях от 500 до 2000 м от очага горного удара, изменение концентрации радона существенно другое (рис. 7). Горному удару предшествует не уменьшение, а резкое увеличение (в 8–10 раз) концентрации радона в наблюдательной скважине, и горный удар следует после прохождения максимума концентрации радона. На рис. 7 показан типичный пример изменения концентрации как для одиночного горного удара, так и для серии ударов. В последнем случае наблюдается суперпозиция кривых, типичных для одиночного удара, причем максимальные значения концентрации для каждого последующего удара снижаются.

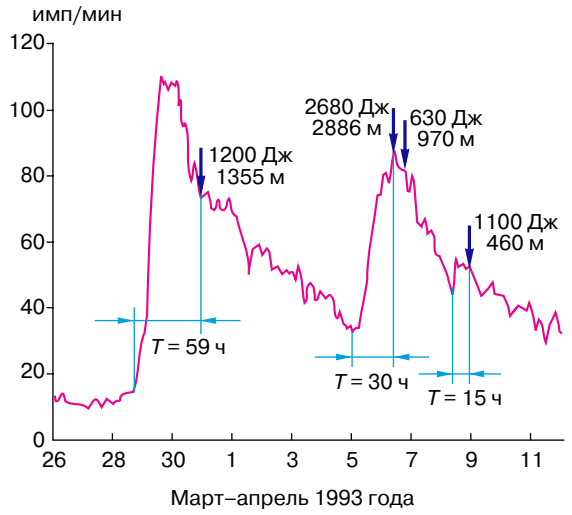

Рис. 7. График изменения концентрации радона в наблюдательной скважине, расположенной в дальней зоне. Отмечены моменты горных ударов с указанием энергии и расстояния от эпицентра каждого удара до измерительной установки

Таким образом, обнаружено новое явление – зональность изменения концентрации радона перед горным ударом относительно координат будущего горного удара. Этот результат был отмечен как одно из крупных научных достижений по Российской Академии наук за 1994 год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования распределения радиогенных газов в верхней части земной коры начинались в свое время как чисто прикладные: по этим данным пытались обнаружить месторождения урана. Затем оказалось, что эти работы позволяют получить новые данные для фундаментальных исследований по разломной тектонике, определяя как зоны разломов, так и их тектоническую глубину по термической эволюции Земли и глобальной эволюции планеты. Развитие исследований по геоэкологии как науке, определяющей состояние среды нашего обитания, привело к необходимости создания новых методик исследований радиогенных газов. В этих методиках соединились методы ядерной физики, физические методы анализа (альфа-радиометр и масс-спектрометр), химические методы отбора и подготовки проб, геология и экология, которые представляют собой объект исследований. Развитие геоэкологии последних лет показывает, что только комплексный подход к таким исследованиям позволяет получить ценные результаты. Таким образом, прикладные исследования по изучению радиогенных газов оказались сначала весьма полезны в фундаментальных исследованиях, а сейчас опять, но на новом уровне служат прикладным целям, позволяя решать такие проблемы, как перенос загрязнения поверхностными и подземными водами, обеспечение экологической безопасности работ при добыче полезных ископаемых, обеспечение прогнозной радиационной опасности населения от естественных источников. Такое развитие научных исследований типично для современной науки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Булашевич Ю.П.*, *Башорин В.Н.* О выявлении разломов на Свердловском профиле ГСЗ по повышенным концентрациям гелия в подземных водах // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1973, № 3.

2. *Булашевич Ю.П.*, *Хачай Ю.В.* О связи выделения аргона и гелия из мантии с термической эволюцией Земли // Там же. 1974. № 7.

3. *Булашевич Ю.П.*, *Бурдин Ю.Б.*, *Юрков А.К.* О соотношении между радиогенными аргоном и гелием в подземных водах Подольского рудного поля // Докл. АН СССР. 1989. Т. 309, № 4.

4. *Новоселицкий В.М.*, *Юрков А.К. и др.* Применение газовой съемки для изучения геотектонического строения Верхне-Камского месторождения калийных солей. В кн.: Комплексное освоение недр Урала. Свердловск: УрО РАН, 1991. С. 8–13.

5. *Гонсалес А.Х.*, *Андерс Ж.* Естественные и искусственные источники излучения. В кн.: Ядерная энергия в будущем. МАГАТЭ, 1989. Т. 31, № 2.

6. *Крисюк Э.М.* Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989.

7. *Титов В.К.*, *Лучин И.А.*, *Лашков Б.П.* Радон в почвах и зданиях. Л.: Рудгеофизика, 1991.

8. *Samet J.M.*, *Hornung R.W.* Review of Radon and Lung Cancer Risk // Risk Anal. 1990. Vol. 10, № 1. P. 65–75.

9. *Смыслов А.А.*, *Максимовский В.А.*, *Харламов М.Г. и др.* Радон в земной коре и риск радоноопасности // Разведка и охрана недр. 1995. № 5.

10 *Барабась С.* Концентрация радона в газах и воде рудного месторождения и ее связь с угрозой горных ударов. В кн.: Ядерно-геофизические исследования. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С. 65–70.

11. *Уткин В.И.*, *Булашевич Ю.П.*, *Юрков А.К.*, *Николаев В.В.* Прогноз горных ударов в глубоких шахтах // Тр. Междунар. конф. SEG-93. М., 1993. С. 15–17.

12. *Булашевич Ю.П.*, *Уткин В.И.*, *Юрков А.К.*, *Николаев В.В.* Изменение концентрации радона в связи с горными ударами в глубоких шахтах // Докл. РАН. 1996. Т. 346, № 2. С. 245–248.

* * *

Владимир Иванович Уткин, профессор Уральского профессионально-педагогического университета, член-корреспондент Российской академии естественных наук, академик Метрологической академии РФ, зав. лабораторией ядерной геофизики Института геофизики Уральского отделения РАН. Занимается проблемами геоэкологии, исследованием процессов переноса радиоактивного загрязнения в условиях воздействия на них геофизических полей, исследованием геологической среды как основы для техногенных и природных катастрофических явлений. Автор более 50 патентов и авторских свидетельств на изобретения.