ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕГАЗАЦИИ РАДОНА

Доктор технических наук Б.З. БЕЛАШЕВ, доктор геолого-минералогических наук В.Я. ГОРЬКОВЕЦ (Институт геологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск)

адон — основной компонент естественной радиоактивности. Выделяемый горными породами, полезными ископаемыми, строительными материалами, артезианской водой в атмосфере этот газ определяет целую совокупность взаимосвязанных процессов, влияет на биоту и здоровье людей. По данным Агентства окружающей среды, в США ежегодно радоном и продуктами его распада инициируется около 20 000 онкологических заболеваний¹. Радон оказывает воздействие на население Швейцарии, Швеции, Финляндии, Австрии и многих других стран.

Прозрачный и бесцветный радон не имеет ни запаха, ни вкуса. Из-за высокой плотности 9.81 кг/м³ при 0 °С, почти в 9 раз большей плотности воздуха, он скапливается в подвалах, горных выработках, пещерах, туннелях, ямах. Вместе с тем, радон подвижен, растворим в воде, газах, органических растворителях, грунтовыми и поверхностными водами, атмосферными потоками переносится на расстояния до нескольких километров².

В природе радона очень мало — его можно отнести к числу наименее распространённых на нашей планете химических элементов. Содержание радона в атмосфере оценивается цифрой 7 · 10⁻¹⁷% по весу. В земной коре его также очень мало — он же образуется преимущественно из сверхредкого ра-

Радон регистрируют по его способности ионизировать среду в серии радиоактивных превращений с участием α-, β- и γ- излучателей. Концентрация радона в воздухе отражает состояние массивов горных пород, активизацию разломов земной коры, процесс подготовки землетрясений. Для живой материи, попадающей в организмы с пищей, водой и воздухом, радон превращается в источник внутреннего облучения. Излучаемые им и продуктами его распада альфа-частицы и ядра отдачи разрушают клетки, а радиоактивный аэрозоль, образуемый альфа-частицами с пылью, действует на органы дыхания. Высокие дозы радона в помещениях провоцируют рост раковых клеток, лейкемию. Слабые дозы улучшают обменные процессы, повышают тонус, лечат заболевания нервной системы, суставов, опорнодвигательного аппарата. Мониторинг радона актуален для сейсмических районов, районов горнорудной промышленности, кристаллических щитов, тектонических зон.

Радон изучают уже более ста лет, но его экологические аспекты всё ещё исследованы недостаточно. В этой статье мы остановимся на роли радона в межгеосферных взаимодействиях и литосферно-биосферных связях, используя литературные данные и результаты собственных исследований,

дия. Тем не менее эти немногочисленные атомы очень заметны, разумеется, с помощью специальных приборов, называемых эманометрами³.

¹ Уткин В.И. Радоновая проблема в экологии // Соровский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 3.

² Бекман И.Н. Радон — друг, помощник, врач. Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2001.

³ http://himya.ucoz.ru/index/radon/0-190

проводимых в приграничной полосе Финляндии и России по Программе "Зелёный пояс Фенноскандии"⁴.

История открытия и свойства радона

Изучая ионизацию воздуха радиоактивными веществами, супруги Кюри заметили, что вблизи радиоактивного препарата тела приобретают и некоторое время сохраняют радиоактивные свойства. Э. Резерфорд причиной этого считал исходящий из препарата газ, вызывающий люминесценцию окружающих тел. В 1899 г. ему и Р.Б. Оуэнсу при работе с препаратами тория удалось эту эманацию обнаружить и определить период её полураспада. Соединение было названо тороном (220Rn)5. Похожее вещество с периодом

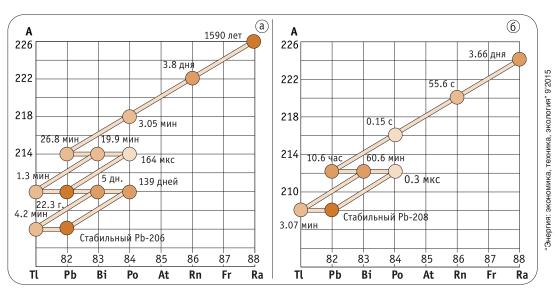
Рис. 1. Схема распадов уранового (а) и ториевого (б) семейств естественных радионуклидов. Интенсивность окраски соответствует периоду полураспада нуклида.

полураспада 3.823 суток (222Rn) в 1900 г. было открыто Ф. Дорном и независимо от него А. Дебьерном. А. Дебьерн также открыл актинон (219Rn) с периодом полураспада 3.96 с. Эти вещества Э. Резерфорд связал с химическим элементом с номером 86. Газообразное состояние эманации было подтверждено в 1902 г., когда Э. Резерфорд и Ф. Содди охладили её и превратили в жидкость. В 1908 г. Уильям Рамзай, Фредерик Содди и Роберт Уитлоу-Грей получили этот одноатомный инертный газ в чистом виде. Окончательно он был назван радоном в 1923 г.6

Изотопы радона образуются в радиоактивных рядах, порождаемых 238 U, 235 U, 232 Th, наиболее стабильный изотоп 222 Rn — в ряду 238 U при распаде 226 Ra. Дочерние продукты 222 Rn представлены полонием, висмутом, свинцом, таллием и также являются эффективными α -излучателями (рис. 1). В газообразном и жидком состоянии радон флюоресцирует голубым цветом, в

(лат. Thoron, обозначается символом **Tn**), также известный как эманация тория (лат. Thorii Emanatio, обозначается символом **ThEm**) — радиоактивный нуклид химического элемента радона с атомным номером 86 и массовым числом 220. Имеет период полураспада 55.6(1) с.

⁶ James L. Marshal and Virginia R. Marshall "Ernest Rutherford, The true Discovery of Radon". Bulletin for the History of Chemistry 2003, 28(2).



⁴ Горьковец В.Я., Белашев Б.З. Геологические структуры Зелёного пояса Фенноскандии и их геоэкологическая роль // Труды Кар. НЦ РАН Зелёный пояс Фенноскандии, 2014, № 6.

⁵ Радон-220, историческое название торон



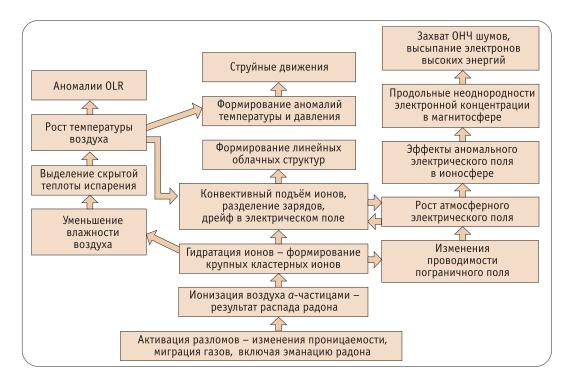


Рис. 2. Процессы, запускаемые радоном в атмосфере.

твёрдом состоянии при охлаждении до азотных температур — жёлтым и красно-оранжевым цветами. По сравнению с другими благородными газами радон наиболее активен, образует соединения RnF₄, RnCl₄, RnO₃, комплексные соединения с водой и фенолом⁷.

В земных недрах источниками радона являются горные породы, создающие локальный геохимический фон обычно в пределах 50–1000 Бк/м³, и тектонические зоны, в которых содержание радона может достигать десятков кБк/м³ и более. Объёмная активность радона зависит от концентрации материнских элементов в горных породах, пористости, трещиноватости пород, коэффициента эманирования, скоростей воздушного или водного омывающих потоков.

Основной формой передвижения радона в гидро- и литосфере является

миграция в воде. Концентрацию радона в подземных водах 500 Бк/л и выше связывают с трещиноватыми массивами кислых кристаллических пород, тектоническими зонами, корой выветривания. Для вод основных изверженных и осадочных пород типичные концентрации радона составляют 10-100 Бк/л, хотя и в них могут проявляться повышенные содержания радона. Из-за короткого периода полураспада и эманирования концентрация радона в поверхностных водах в обычных условиях не превышает 2-5 Бк/л. Повышенные содержания радона характерны для отдельных водных источников США, Ирландии, Чехии, скандинавских стран, Австрии, Германии, России, Ирана. В Бразилии, Индии, Канаде, России известны территории с "ураганными" содержаниями радона. Объёмная активность радона в подпочвенном воздухе некоторых нефтяных месторождений Нижнего Поволжья достигает 10⁶ Бк/м³. Такие содержания радона объясняют его выносом с больших глубин скоростными газовыми струями.

⁷ Таубе П., Руденко Е. Радон // Химия и жизнь, 1967.

С участием радона решают задачи, связанные с происхождением и распространением загрязнений, надёжностью захоронения радиоактивных отходов, выявлением заражённых участков. Радоновую съёмку проводят с целью поисков урана, картирования грабенов⁸ и разломов земной коры. Используя особенности гидрогеохимии и отношения изотопов, исследуют миграцию радона, инфильтрационное питание, водообмен, взаимодействие подземных и поверхностных вод. Радоновая дегазация помогает оценить трещиноватость кристаллических массивов и глубины разломов. Общественный интерес привлекают проблемы радонового фона и радонотерапии⁹.

Агент межгеосферных взаимодействий

На дневной поверхности радон запускает серию взаимосвязанных атмосферных процессов (рис. 2). Её основу составляют ионизация воздуха альфа-частицами, гидратация молекул водяного пара на ионах, образование кластерных ионов¹⁰. Последующие процессы условно можно отнести к тепловой, вещественной и электрической ветвям. С тепловой ветвью связывают уменьшение влажности, выделение теплоты конденсации, рост температуры воздуха, его адиабатический подъём и расширение, образование на высоте 9-11 км области мелкомасштабной турбулентности, отрыв и уход в космос длинноволнового инфракрасного излучения (OLR). В вещественной ветви образование крупных кластерных ионов и их конвективный подъём приводят к формированию характерных облачных структур, аномалий температур и давлений, струйных течений. Электрическую ветвь сопровождает дрейф ионов в поле Земли, изменение проводимости пограничного слоя, рост атмосферного электрического поля, проявление эффектов аномального электрического поля в ионосфере, возникновение продольных неоднородностей электронной концентрации в магнитосфере, захват ОНЧ шумов¹¹ и высыпание электронов высоких энергий.

Регистрируемые со спутников конечные стадии этих процессов можно рассматривать как предвестники тектонических событий.

Радон в геологических структурах Фенноскандинавского щита

Фенноскандинавский щит сложен архейскими и протерозойскими комплексами, перекрытыми четвертичными отложениями. Благодаря выходу части его пород на поверхность их датируют. Древнейшие докембрийские породы щита имеют возраст около 3.5 млрд лет, а глубокие тектонические зоны разного времени заложения свидетельствуют о бурном геодинамическом прошлом щита. Недавний этап геологической истории Фенноскандинавского щита определил ледник, около 9 тыс. лет назад сформировавший своеобразный ландшафт с многочисленными озёрами, реками, болотами и моренными отложениями. Современное медленное поднятие щита считают следствием освобождения Фенноскандинавского щита от ледового покрова.

Радоновую дегазацию мы исследовали в раннеархейских образованиях возраста 3.2 млрд лет на примере гранулитовых комплексов Вокнаволокского блока в районе деревни Вокнаволок (Западная Карелия) и в позднеархейских кристаллических образованиях (2.75-2.8 млрд лет) в Костомукшском рудном поле (Западная Карелия) и в районе Иломантси (Финляндия). Позднепротерозойские геологические структуры возраста 1.9–2.1 млрд лет изучали

⁸ Гра́бен (нем. Graben – ров, канава) – дислокация, участок земной коры, опущенный относительно окружающей местности по крутым или вертикальным тектоническим разломам.

⁹ Новиков Г.Ф. Радиометрическая разведка. Л.: Недра, 1989.

¹⁰ Пулинец С.А., Узунов Д. Спутниковым технологиям нет альтернативы. О проблеме мониторинга природных и техногенных катастроф // Гелиогеофизические исследования. М.:, 2010, выпуск 89.

¹¹ Естественные очень низкочастотные (ОНЧ) электромагнитные радиоизлучения.



Рис. 3. Белая черника. Дорога Боровой–Костомукша. Республика Карелия.

на территории месторождений Оутокумпу и Полвиярви (Финляндия). Регистрацию содержания подпочвенного радона вели с использованием радоновой станции "СРС-05" и индикаторов-детекторов радона "Сирад МR 106 N". Автономно работающая станция "СРС-05" регистрировала объёмную активность радона, торона и параметры среды: давление, температуру, влажность, сохраняла результаты измерений во внутренней памяти. Места установки для детекторов радона выбирали по показаниям водородного сенсора газоанализатора "Драгер

X-am5000", а гамма-фон измеряли сцинтилляционным радиометром "СРП-68".

Наибольшая объёмная активность радона 14 кБк/м³ зафиксирована в позднеархейских геологических структурах, сложенных содержащими уран микроклиновыми гранитами. Для позднепротерозойских образований объёмная активность радона соответствовала интервалу 2-4 кБк/м3, для раннеархейских породных типов её показания отвечали уровню 1 кБк/м³. Радиационный гамма-фон часто не отражал повышенного содержания подпочвенного радона. Для большинства вод Фенноскандинавского щита объёмная активность радона имеет фоновые значения, однако встречаются родники с объёмной активностью около 7 кБк/л.

Мутации в биосфере

В живых организмах радон ионизирует и возбуждает молекулы, активизирует мутации, влияет на образование опухолей. Эффективность влияния радона

Рис. 4.
Структурные аномалии сосны:
а — дихотомия (Иломанси, Финляндия),
б — опухоли (Оутокумпу, Финляндия),
в — многоствольность (Вокнаволок,
Россия)





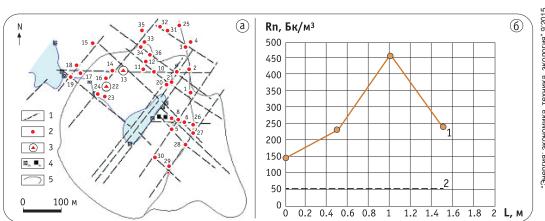
Рис. 5. Крупный муравейник в заповеднике "Костомукшский".

и продуктов его распада на живые системы связана с его действием на внутренние органы и кровь. Разлагая кровь и воду на взаимодействующие с кислородом радикалы Н+, ОН-, радон способствует появлению сильных окислителей: гидратного оксида НО2 и перекиси водорода Н₂О₂ Биологическое действие радона связывают с нарушением жизнедеятельности организмов, зависящим от дозы, латентным периодом, распространением эффекта облучения на последующие поколения. Воздействию геохимических и геофизических факторов среды подвержены растения, длительно произрастающие на одном месте. Примером мутаций растений, связанных с естественной радиоактивностью, является чер-(рис. 3)¹². ника-альбинос По сравнению с обычной черникой её белые ягоды крупнее и слаще, а их сок более вязкий.

Результатом влияния радона считают структурные аномалии растений: искривлённые, дихотомичные и многоствольные деревья, деревья со свилями, опухолями (рис. 4). Такие аномалии деревьев связывают с их место-

положением вблизи тектонических зон, рудных месторождений, радоновых вод. Наибольшую радиационную чув-

Рис. 6. а - схема разломов (1) с приуроченными к ним крупными муравейниками (2); (3) – разрушенные и восстановленные муравейники; (4) - гидрологические скважины и места отбора водных проб на радон; (5) – линии уровня. б — результаты измерения объёмной активности радона (1) по профилю, перпендикулярному линии, соединяющей муравейники с номерами 7 и 8, и фоновые значения прибора (2).



'Энергия: экономика, техника, экология" 9'2015

¹² Ягода черника белого цвета: http://kareliafishing. ru/yagoda-chernika-belogo-cveta/31072010768-2/ (дата обращения 25.02.2015)

ствительность среди хвойных деревьев имеет сосна, а среди лиственных — берёза. Возможно, мутации, вызванные радоном, способствовали появлению карельской берёзы¹³. Устойчивы к радиации ольха и можжевельник. Биологическим индикатором радона является традесканция, у которой в результате облучения меняется число микроядрышек в клетках (ядрышковый тест)¹⁴. Радоновые воды содержат меньше микроорганизмов.

Крупные муравейники

Крупные муравейники обнаружены нами в заповедниках "Костомукшский" и "Lentua" в приграничной полосе России и Финляндии (рис. 5). По сравнению с обычными муравейниками высотой 0.5–0.7 м и диаметром подошвы 0.7–0.9 м, размеры крупных муравейников составляют соответственно 1.7–2.0 м и 2.3–2.6 м. Крупные муравейники встречаются группами. Причины их появления и концентрирования на местности не известны.

В заповеднике "Костомукшский" на участке площадью 0.15 км² имеется 36 крупных муравейников при полном отсутствии обычных. За 20 лет наблюдений общее число муравейников почти не изменилось, хотя часть их прекратила существование, другие были восстановлены, и возникли новые. На участке были пробурены гидрологические скважины, проведена геологическая съёмка. Оказалось, что муравейники трассируют зоны разломов (рис. 6 а).

Несмотря на обычные поверхностные фоновые уровни радиации 5–9 мкр/ч вблизи муравейников, в водных источниках участка зафиксированы высокие

Анализируя данные наблюдений и измерений, мы пришли к выводу, что муравьи используют радон для борьбы с паразитами, поскольку выбор радиационных участков для обустройства муравейника помогает муравьям уничтожать паразитов. Из-за высокой скорости деления клеток клетки паразитов на таких участках часто мутируют и гибнут. У муравьёв скорость деления клеток ниже. Клетки их хитинового покрова делятся раз в год во время линьки¹⁵. Кроме того, при длительном радиационном воздействии в популяциях муравьев идёт отбор устойчивых к радиации генотипов¹⁶.

Проверим эту гипотезу с помощью модели, описывающей численность муравьев x(t) и паразитов y(t) в муравейнике во времени t системой уравнений:

$$dx/dt = ax - bxy,$$

$$dy/dt = cxy - dy$$
(1)

с положительными коэффициентами a, b, c, d. Здесь член ax характеризует скорость роста численности муравьёв, член bxy отражает затраты муравьёв на обеспечение паразитов. Член cxy определяет скорость роста численности паразитов, а член dy — скорость их убыли.

Из стационарных решений системы:

$$x = 0, y = 0,$$
 (2)
 $x = d/c, y = a/b$

содержания радона. В роднике на берегу озера концентрация радона составила 1.3 кБк/л. Распределение концентрации подпочвенного радона по профилю, перпендикулярному линии, соединяющей центры муравейников, показало, что максимум концентрации, равный 475 Бк/м³, находится на этой линии (рис. 66). В полосе между муравейниками во время измерения были зарегистрированы повышенные значения диоксида углерода 460±30 ррт.

¹³ Белашев Б.З., Болондинский В.К. Карельская берёза — загадочное дерево севера // Наука в России. 2013. № 5 (197).

¹⁴ Калаев В.Н., Буторина А.К., Мильшин А.В., Вахтель В.М., Бабенко А.Г. О возможностях нестохастических биологических эффектов при облучении радоном в эквивалентных равновесных объёмных активностях 200 и 400 Бк/м³ зебрины повислой // Вестник ВГУ, серия Химия, Биология, 2001. № 2.

¹⁵ Кинкель Й. Устойчивы ли тараканы к радиации? : http://www. dez.ocy.ru/jozeph-kunkel/index. html#rav

¹⁶ Моссэ́ И.Б. Генетические эффекты в природных популяциях животных, обитающих в радиационно-загрязнённых районах Белоруссии// Информационный бюллетень №3: chernobyl.latp. by/rus/n3/Bul31-1htm

устойчивым является решение x = d/c, y = a/b.

Будем считать, что в тектонических зонах коэффициенты а, b, c принимают те же значения, что и на других участках, а коэффициент d вследствие радиации имеет большую величину. Решение показывает: численность паразитов сохраняется, а численность муравьёв растёт. С учётом постоянства объёма, приходящегося на одного муравья в муравейнике, модель объясняет увеличение размеров муравейников в зонах разломов и уменьшение числа паразитов, приходящихся на одного муравья. Возможно, по этой причине муравьи крупных муравейников выглядят более энергичными.

Привлекать муравьёв в зоны разломов также могут повышенная температура, электрические поля и углеводородная дегазация.

В практическом плане крупные муравейники полезны тем, что маркируют радиационные участки и разломы земной коры, несут информацию об от-

Таблица

Биологические эффекты в зависимости от дозы естественного фона Дозы D, кратные Эффекты естественному фону D<1 Подавление роста, угнетение размножения 1<D<10 Стимуляция роста и размножения 10<D<100 Проявление стимулирующих и депрессивных эффектов. Активация восстановительных и компенсационных механизмов 100<D<1000 Повреждения. Генетические нарушения. Устранение повреждений 1000<D Повреждение генов. Угне-

тение восстановительных

процессов. Возможность

летального исхода

сутствии вечной мерзлоты¹⁷, снижают риск освоения новых территорий.

Радон исцеляющий

Опасность высоких доз радона для людей принято связывать с его радиоактивностью и поражающим действием на лимфоузлы, селезёнку и костный мозг. Главную роль при этом отводят имеющим пролонгированное действие дочерним продуктам распада радона 216 Po (T=22 года) и 214 Pb (T=138 дн), присутствующим в атмосфере в виде аэрозолей. С другой стороны, считается, что околофоновые дозы радона благотворно влияют на здоровье людей, являются эволюционно обоснованными и жизненно необходимыми. Согласно этим представлениям в условиях повышенного радиационного фона люди живут дольше и меньше болеют.

В методе, называемом радонотерапией, на организм действуют микродозами радона, а оздоровительный эффект связывают с радиационным гормезисом, при котором клетки повреждаются незначительно, а активизация жизненных процессов идёт за счёт стимуляции деления клеток и других реакций на внешние воздействия. Одним из проявлений радиационного гормезиса является тот факт, что облучение малыми дозами повышает сопротивляемость организма по отношению к большим дозам радиации. Радонотерапия полезна при заболеваниях сердечнососудистой, нервной, эндокринной, иммунной систем, гинекологических и кожных заболеваниях, нарушениях 🛭 обменных процессов и опорно-двигательного аппарата. Проявление биологических эффектов в зависимости дозы облучения демонстрирует таблица¹⁸.

¹⁸ Радиационныйгормезис •Агрохимиявсельскомхозяйстве: http://aquantia.ru/selskohozyaystvennayaradiologiya/1151-radiacionnyy-gormezis-chast-1.html

¹⁷ Пустолякова Е. Муравейники как индикаторы талых зон в вечной мерзлоте/COPAH INFO Наука. Сибирь. Общество, 11.02.2013 http://aquantia.ru/selskohozyaystvennaya-radiologiya/1151-radiacionnyy-gormezis-chast-1.htmlwww.copah.info/.../muraveiniki-kak-indikatory-talykhzon-v-vechnoi-merzlote

"Энергия: экономика. техника. экология" 9'2015

Распространённым видом радонотерапии являются радоновые ванны, использующие воды естественных радоновых источников или насыщенную радоном обычную пресную воду. Радоновые ванны улучшают микроциркуляцию крови в коже, нормализуют работу сердца, сократительную функцию миокарда, частоту сердечных сокращений, выравнивают артериальное давление, оказывают болеутоляющее и успокаивающее действие на нервную систему, повышают иммунитет, снижают выработку антител, меняют функции повреждённых органов, оказывают противовоспалительное действие, нормализуют морфологический состав и свёртываемость крови, стимулируют процессы регенерации тканей, эффективно действуют на обмен веществ.

Различают прямое и опосредованное воздействия α-излучения радона и его дочерних продуктов на организм. При прямом действии на коже образуется поверхностный слой из радона и продуктов его распада, меняющий электрические характеристики кожи, влияющие на микроциркуляцию крови и обмен веществ. В результате опосредованного воздействия возбуждаются центры нейроэндокринной и иммунной регуляции, вырабатывающие и выбрасывающие в кровь биологические вещества, активирующие разные физиологические системы организма. Во время приёма ванны проявляется двухфазная реакция капилляров. ф пилляров уменьшается, а в конце приёма ванны в течение чесе увеличение и возрастание в них тока крови. Так происходит тренировка периферических сосудов.

Приём ванн повышает скорость распространения возбуждения по нерву, возбудимость мотонейронов, блокирует тормозные интернейроны, стимулирует активность тканевых ферментов, снижает уровень холестерина и мочевой кислоты в крови. Через 2.5 часа после процедуры радон выводится из организма, а ещё через два часа исчезают его дочерние продукты. На протя-

жении нескольких часов после ванны в коже, в других органах и тканях в результате альфа-облучения поддерживается состояние ионизации тканевой жидкости, меняющее направленность и интенсивность биохимических процессов, запускающее механизм восстановления нарушенных функций органов и тканей.

Названный в честь покровителя шахтёров святого Иоахима небольшой чешский городок Яхимов, расположенный в 17 км к северу от Карловых Вар, дал мировой цивилизации три важнейшие инновации. В XVI веке здесь начали разрабатывать серебряное месторождение, и местный князь стал чеканить монету. Получившие распространение в Европе из-за высокого содержания серебра талеры впоследствии превратились в мировую валюту - доллар. В начале XX века Мария Кюри в урановой смолке отходов Яхимовского фарфорового производства открыла новые элементы: полоний и радий, в результате чего здесь стали добывать уран. После прекращения добычи в 1964 году в Яхимове начал работать первый в Европе радоновый курорт. В нём функционируют радоновые источники (С1, Кюри, Агрикола и Бегоунек) с объёмной активностью около 10 кБк/л и температурой 29-35 °C.

Радоновыми курортами Европы являются Бадгастайн (Австрия), Хевиз (Венгрия), Баден-Баден (Германия), Хисаря (Болгария), Лутракион, Нигрита, Плетистома (Греция), Алама-де-Арагон (Испания), Албано-Терме, Бормио, Касамиччола-Терме, Лакко-Амено, Искья (Италия), Лендек-Здруй, Сверадув-Здруй, Щавно-Здруй (Польша), Борсек, Бэиле-Феликс, Джоаджиу (Румыния), Баня-Ковиляча, Нишка-Баня (Сербия), Виши, Дакс (Франция), Дорувар, Истарске-Теплице (Хорватия), Баден (Швейцария), Игало (Черногория) и другие. Известными курортами Китая являются Аньшань и долина радоновых источников на о.Хайнань, Киргизии-Джетыогуз, Средней Азии – Джелал-Абад, Турции – Памукале.

В России популярны радоновые курорты Белокурихи (Алтай), Пятигорска (Кавказкие минеральные воды), Свердловской, Челябинской, Саратовской, Воронежской областей, Бурятии и Башкирии.

Обладает ли радон психотропным действием?

Радон инертен, химически слабо взаимодействует с другими веществами. Однако в результате ионизации воздуха радоном образуется газ, обладающий наркотическим действием, называемый "веселящим" газом или закисью азота N_2 О. С молекулярной массой M=44, как у диоксида углерода, он собирается у поверхности Земли, снижает концентрацию кислорода и способствует гипоксии.

Обычно закись азота присутствует в воздухе в количестве 0.00005% и среди газов атмосферы делит девятое место с водородом. На глубине равновесие реакции $2N_2 + O_2 = 2N_2O$ смещается вправо, а на высоте содержание закиси азота возрастает в результате разрушения ультрафиолетом молекул кислорода. На высотах 2500-3500 м и глубинах 30-40 м повышенные концентрации закиси азота вызывают необычное поведение людей. Люди веселятся, смеются, жестикулируют, легковесно относятся к среде, подвержены слуховым и зрительным галлюцинациям. Эти симптомы близки алкогольному опьянению и связаны с коагуляцией эритроцитов, уменьшением снабжения капилляров кровью, снижением дрожи тела и терморегуляции, изменением состава нейромедиаторов, нарушением работы синапсов и центральной нервной системы, ухудшением нервномышечной координации. В организме закись азота не вызывает раздражения дыхательных путей, с гемоглобином не связывается, находится в растворённом состоянии в плазме, после употребления через 10-15 мин выводится в неизменном виде. В медицине её применяют в смеси с кислородом как средство ингаляционного наркоза

при хирургических операциях, родах, инфаркте миокарда. Малые концентрации "веселящего" газа быстро вызывают возбуждение, сменяемое лёгкой сонливостью. Высокие дозы закиси азота ведут к угнетению функций, депрессии и бессоннице.

"Веселящий" газ мог быть причиной психических эпидемий смеха в Танганьике или танцевальных эпидемий в Страсбурге, долине Рейна, на Мадагаскаре. В системе молодых разломов земной коры, протянувшихся из Азии через Красное море в Африку на расстояние свыше 6000 км, озеро Танганьика занимает длинную узкую впадину, в которой имеются источники азотных термальных вод. Долина Рейна проходит по разломам рифтовых зон, в которые эндогенные флюиды поступают из зон сжатия. Области дегазации видны из космоса в виде светящихся пятен в ИК диапазоне. К ним приурочены знаменитые курорты, например, Баден-Баден с источниками минеральных вод с высокими содержаниями азота и радона. Страсбург – столица Эльзаса также находится в долине Рейна. Трещиноватость фундамента характерна для геологического строения Мадагаскара. Условия для дегазации здесь весьма благоприятные¹⁹.

Известно, что эпидемиям холеры предшествовал голод, вызванный неурожаями после череды продолжительных холодных зим, коротких летних сезонов с засухами, дождями, заморозками, сильнейшим градом. По времени эти эпидемии близки к минимумам солнечной активности, сопровождаемым похолоданием, усилением дегазации, нехваткой кислорода, низким фотосинтезом растений, сокращением производства продовольствия.

Массовые психические эпидемии поддерживаются за счёт обратной связи. Быстрое дыхание без физической нагрузки, которыми являются смех или плач, повышает концентрацию закиси

¹⁹ Белашев Б.З. О влиянии природных факторов ф на здоровье и психику человека / Система "Планета Земля": 200 лет Священному союзу. М.: ЛЕНАНД, 2015.

азота в воздухе. Выдыхая, смеющиеся повышают содержание "веселящего" газа. Положительная обратная связь усиливает процесс, вовлекает в него новых участников.

С марта 2013 года жители казахстанского села Калачи в Акмолинской области стали внезапно засыпать и просыпаться в не совсем адекватном состоянии. По состоянию на январь 2015 года было зафиксировано 124 таких случая. У больных наблюдали сонливость, потерю памяти, нарушение координации движений, галлюцинации, бредовые состояния. В ходе медицинского освидетельствования у них был выявлен букет заболеваний: диабет, анемия, атеросклеротические поражения сосудов и прочие хвори. В меньших масштабах "сонная" болезнь проявилась в Красногорске - посёлке, находящемся в 5 километрах от Калачей, где с 1960-х по 1990-е годы добывали урановую руду. В Красногорске проживает 130, а в Калачах – 550 человек.

В качестве одной из причин "сонной" болезни рассматривали радон. Значения гамма-фона 0.08–0.14 мкЗв/ч оказались почти в два раза меньше нормы 0.3 мкЗв/ч, а объёмная активность радона в помещениях при норме 200 Бк/м³ составила 226–567 Бк/м³. Причина недуга осталась невыясненной²⁰. Было принято решение расселить село.

Заключение

Как фактор естественной радиоактивности, радон определяет ряд физических, биологических и социальных процессов. Изучение разнообразных эффектов его действия на живое и косное вещество помогает глубже понять отдельные механизмы функционирования биосферы, взаимосвязь и взаимообусловленность её процессов.

"SMART CITIES": ПОДХОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Кандидат экономических наук Е.И. ДОЛГИХ, Е.В. АНТОНОВ, В.А. ЕРЛИЧ (ООО "Агентство Эс Джи Эм")

последние два десятилетия в мире отмечается рост интереса к тематике "Умных городов". В различных странах реализуются проекты по строительству новых "умных" кварталов или целых населённых пунктов, а также "смартизации" уже существующих. В мире насчитывается 143 проекта "умных ("зелёных") городов" разной степени завершённости¹. Большинство "умных городов" расположены в Северной Америке и Западной Европе, но к 2025 г. они будут активно появляться в Латинской Америке. на Ближнем Востоке и в Восточной Европе². Наиболее удачным примером "умного города", построенного с нуля, считается южнокорейский Сонгдо, основная часть строительства которого должна завершиться в 2015 г.3

В России пока принципы "умного города" реализуются лишь в нескольких небольших проектах, находящихся на стадии строительства или проектирования, но наблюдается отчётливая тенденция к развитию этой темы.

Энергия: экономика, техника, экология" 9'2015

²⁰ Медников А. Между дустом и радоном. Электронный ресурс http://lenta.ru/articles/2015/ 01/13/sleep/

¹ По данным Владимира Дрожиннова, представленным на круглом столе "Умные города: потенциал и перспективы развития в регионах России" (НИУ "Высшая школа экономики"), 11.04.2014: (http://issuu.com/epliseckij/docs/bc9 fac678b9405/5?e=7773934/7474790).

² Hollands R.G. Will the Real Smart City Please Stand Up.

³ Сонгдо – Умный город будущего http://greenagency.ru/songdo-umnyj-gorod-budushhego/