

ЗМЕСТ

ХІМІЯ

Богдасаров А.А., Богдасаров М.А. Радон: физико-химические особенности и медико-геологические аспекты проблемы	5
Коваленко В.В., Ерчак Н.П. Рострегулирующая активность гидрооксалата диметил(2-тиенил)-γ-[(N-метил)-N'-пиперазинопропил]силана	14
Ступень Н.С., Лукашевич М.В. Исследование совместного влияния хлорид-ионов и реакции среды на течение процессов коррозии в цементном камне и стальной арматуре.....	19

БІЯЛОГІЯ

Абрамчук С.В., Гайдук В.Е. Структура и динамика населения птиц рыбхоза «Локтыши»	26
Колбас А.П., Волосюк С.Н., Зеркаль С.В., Сидорович Е.А. Содержание микроэлементов и структурные изменения хвои <i>Picea abies</i> (L.) Karst. в условиях городской среды	33
Писаненко А.Д., Лундышев Д.С. Жесткокрылые семейства Staphylinidae (Coleoptera) – обитатели гнезд хищных птиц Беларуси.....	43
Пряжникова А.А., Рыковский Г.Ф. Географический анализ бриофлоры Гродненской крепости времен I мировой войны	52
Сербун А.А., Гайдук В.Е. К мониторингу обычных гнездящихся видов птиц в агроландшафтах юго-запада Беларуси	63
Шкуратова Н.В. Сравнительно-анатомический анализ строения коры однолетних стеблей <i>Salix babylonica</i> L. и <i>Salix matsudana</i> Koidz.	70

НАВУКІ АБ ЗЬМЛІ

Босак В.Н. Снижение потерь органического вещества торфяной почвы методом нанесения покровного грунта	75
Махнач Н.А., Зерницкая В.П. Климатические изменения в позднеледниковье–голоцене Беларуси (по данным изотопно-геохимического исследования аутигенного озерного кальцита).....	81
Михальчук Н.В., Галуц О.А., Ковалев И.В. Параметры парциальных флор гидрогенно-карбонатных ландшафтов Полесья в естественных и антропогенно-модифицированных условиях	95
Никитюк Д.В. Ландшафтно-туристская диагностика территории Брестской области.....	105
Тарасенок А.И. Въездной организованный туризм в Беларуси: оценка перспективности географических рынков сбыта национального турпродукта	113
Усова И.П., Токарчук С.М. Ландшафтное разнообразие природных комплексов Брестской и Могилевской областей	120
Звесткі аб аўтарах	128

INDEX

CHEMISTRY

- Bogdasarov A.A., Bogdasarov M.A.** Radon: Physical and Chemical Characteristics and Geological Aspects of Health Problems.....5
- Kavalenka V.V., Erchak N.P.** Growth Regulating Activity of Dimethyl(2-Thienyl)- γ -[(N-Methyl)-N'-Piperazinepropyl]Silane14
- Stupen N.S., Lukashevich M.V.** Research of Joint Influence of Chloride Ion and Reactions of Environment on the Flow of Processes of Corrosion in a Cement Stone and Gargers19

BIOLOGY

- Abramchuk S.V., Gaiduc V.E.** Structure and Dynamics of Bird Population of «Laktyshy» Fish Farm.....26
- Kolbas A.P., Volosiuk S.N., Zercal S.V., Sidorovich Y.A.** Trace Element Contents and Structural Changes in Needles of *Picea Abies* (L.) Karst. in Urban Environmental Conditions33
- Pisanenko A.D., Lundyshev D.S.** Staphylinidae (Coleoptera) Family Beetles – the Inhabitants of Birds of Prey Nests of Belarus.....43
- Pryazhnikova A.A., Rykovskij G.F.** The Geographical Analysis of Bryophyte Flora Grodno Fortress during World War I.....52
- Serbun A., Gaiduk V.** On Monitoring of Common Breeding Birds' Species in Agricultural Landscapes of South-West of Belarus63
- Shkuratova N.V.** Comparative Anatomy of Bark of One-Yare Stems of *Salix babylonica* L. and *Salix matsudana* Koidz.....70

SCIENES ON EARTH

- Bosak V.** Loss Reduction of Peat Organic Substance by Means of Top-Soil Covering.....75
- Makhnach N.A., Zernitskaja V.P.** Climate Changes in the Late Glacial – Holocene in Belarus (Evidence from Isotope-Geochemical Data on Authigenic Lacustrine Calcites).....81
- Mikhalchuk N.V., Galuc O.A., Kovaliov I.V.** Parameters of Partial Flora of Hydro-Carbonate Landscapes of Polesseye in Natural and Anthropogenic-Modifications Conditions95
- Nikityuk D.V.** Touristic Diagnosis of Landscapes of Brest Region.....105
- Tarasionak A.** Incoming Tourism of Belarus: Analysis of Availability of Geographical Market of National Tourism Product.....113
- Usova I.P., Tokarchuk S.M.** Landscape Diversity of Natural Complexes of Brest and Mahilew Regions.....120
- Information about the authors128

УДК 546.296

А.А. Богдасаров, М.А. Богдасаров

РАДОН: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И МЕДИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ

Работа посвящена инертному радиоактивному газу радону; дана характеристика его физико-химических особенностей, геологических условий образования, перспектив использования. Рассмотрены негативные аспекты воздействия радона на организм человека, методы защиты от радоновой опасности, вопросы радонотерапии и перспективы ее развития применительно к территории Беларуси.

Медицинская геохимия – стратегически значимая социально ориентированная дисциплина. Изучение обстановок и факторов воздействия геохимических объектов и процессов на здоровье человека позволяет разрабатывать превентивные и лечебно-профилактические меры, необходимые для успешного решения текущих и планирования перспективных задач экономики хозяйствования и воплощения в жизнь различных социальных проектов, в основе которых интересы всех слоев населения. Продвижение данного направления возможно только в условиях свободного доступа к медицинской и геохимической информации любого уровня и публичного обсуждения путей решения социальных, экологических и медицинских проблем.

Радон является химическим элементом VIII группы периодической системы Д.И. Менделеева и наряду с гелием, неоном, аргоном, криптоном и ксеноном относится к семейству инертных газов. Атомный номер радона 86, атомная масса – 222,0176. В природе известно 19 изотопов радона с массовыми числами 204 и от 206 до 224. Искусственным путем получено 16 изотопов. Название элементу дано по наиболее долгоживущему радиоактивному изотопу радону-222 (период полураспада 3,822 суток), образующемуся в результате альфа-распада изотопа радия-226. Последний, в свою очередь, образуется в результате распада урана-238.

Открыт радон в 1900 году немецким ученым Ф. Дорном и английским физиком Э. Резерфордом, который в том же году указал на существование другого изотопа радона-220 (период полураспада 54,5 секунды), названного тороном и являющегося членом радиоактивного семейства тория. Актинон, открытый французским ученым А. Дебьерном, также член радиоактивного семейства тория. Этот природный изотоп радона с массовым числом 219 и периодом полураспада 3,92 секунды – самый короткоживущий. Среди различных продуктов полураспада радона присутствуют изотопы тяжелых металлов: свинец-214 и висмут-214, а также полоний-218 и полоний-214, – являющиеся источником альфа-излучения.

Радон – одноатомный газ без запаха, вкуса и цвета с плотностью 9,73 г/л, температурой кипения $-61,9^{\circ}\text{C}$ и температурой плавления $-71,0^{\circ}\text{C}$. Химически малоактивен. В одном объеме воды при нуле градусов растворяется 0,507 объема радона. В органических растворителях растворимость радона значительно выше. В спиртах и жирных кислотах растворимость газа возрастает с увеличением их молекулярных весов. Радон хорошо адсорбируется на активированных углях и силикагеле, довольно легко просачивается сквозь полимерные пленки. Собственная радиоактивность радона вызывает его флюоресценцию. Газообразный и жидкий радон флюоресцирует голубым светом,

у твердого радона при охлаждении до азотных температур флюоресценция становится сначала желтой, а затем красно-оранжевой.

Спектр радона аналогичен спектру ксенона и других элементов периодической системы Д.И. Менделеева. Химические свойства определяются его положением в группе инертных газов. По аналогии с ксеноном радон дает молекулярные соединения определенного состава, в образовании которых значительную роль играют силы Ван-дер-Ваальса. Эти соединения, полученные советским радиохимиком Б.А. Никитиным, отвечают формулам $Rn \times 2C_6H_5OH$, $Rn \times 2CH_3C_6H_5$ и $Rn \times 6H_2O$. Из них первые два изоморфны аналогичным соединениям сероводорода, а последнее – гексагидрат радона – изоморфно $SO_2 \times 6H_2O$. В настоящее время эти вещества относят к группе клатратных соединений, или соединений включения. На использовании изоморфизма основан метод количественного выделения радона из смеси с другими благородными газами. Кроме того, исходя из общей устойчивости галогенидов благородных газов должны быть устойчивыми и некоторые галогениды радона, такие как RnF_2 , RnF_4 , RnF_6 и $RnCl_4$. При смещении радона с фтором было идентифицировано малолетучее соединение радона с фтором. Если подвергать фторированию смесь радона и ксенона, то фториды ксенона сублимируют при $50^\circ C$, а фториды радона остаются до $250^\circ C$. Полученное соединение радона с фтором восстанавливается водородом при $500^\circ C$, давая при этом элементарный радон.

Радон является одним из самых редких элементов в земной коре. Общее его количество до глубины двух километров составляет около 115 тонн. Образующийся в радиоактивных рудах и минералах (уран, торий, радий), радон постепенно поступает на поверхность Земли, в гидросферу и атмосферу. В одном кубическом метре воздуха при нормальных условиях содержится 7×10^{-6} грамм радона. Содержание радона в атмосфере оценивается величиной порядка 7×10^{-17} по весу. Это очень и очень мало, если говорить о его распространенности в атмосфере и в воздухе. Например, в километровом слое воздуха над территорией, равной по площади Минской области, находится всего около 3 мл чистого газообразного радона. Приведем такой пример: на одну молекулу радона в воздухе приходится $1,67 \times 10^{23}$ других молекул, и если бы они превратились в песчинки массой 2,5 мг каждая, то одна «песчинка» радона находилась в песчаной горе массой 418 млрд. тонн. Человечество ежегодно добывает из недр около 15 млрд. тонн горных пород и руд, т.е. при современных масштабах горных работ для разработки такой песчаной горы в поисках одной «песчинки» радона горнодобывающей отрасли промышленности всего мирового сообщества потребовалось бы почти 30 лет. Но кроме воздуха радон постоянно присутствует в воде и в почве и является одним из наиболее токсичных и радиоактивных газов, что, несомненно, представляет собой определенную опасность. Присутствует радон повсеместно и в кристаллических горных породах фундамента, и в осадочных горных породах чехла литосферы, содержащих в своем составе уран и другие радиоактивные элементы (Бразилия, США, Индия, Германия, Чехия, страны Скандинавии, Россия, Грузия, Узбекистан, Таджикистан, Кыргызстан). Отмечен радон и в Беларуси – в местах геологических разломов в Микашевичском гранитном массиве, в Лунинецком, Минском, Барановичском, Шкловском, Дятловском районах, в минерализованных водах различных районов Гродненской и Брестской областей, в некоторых артезианских скважинах.

Интенсивно выделяться из горных пород недр Земли радон начинает, когда они подвергаются сжатию и растяжению при активном возмущении магнитного поля Земли, вызываемом мощными взрывами на Солнце. На Земле их замечают за сутки-двое до приближения «солнечного ветра». Значит, есть время для радоновой профилактики, поскольку самочувствие ухудшают не столько сами магнитные бури, сколько спровади-

рованные ими выделения радона из недр Земли. А это происходит не сразу – вот почему больные люди нередко чувствуют себя хуже совсем не в те дни, которые указываются в прогнозах неблагоприятных дней. При этом необходимо знать, что при интенсивных выбросах радона уровень естественной радиации может более чем в 100 раз превышать фоновый и в 10–15 раз – предельно допустимый.

Радиоактивный газ радон, который не имеет ни запаха, ни вкуса, ни цвета, могут «учуять», помимо специальных приборов, лишь легкие человека, куда радон проникает в виде аэрозолей и оседает в бронхах и альвеолах. По данным ООН, около 20% заболеваний раком легких связано с негативным воздействием этого газа. В США, например, ежегодно из-за радонового облучения от рака легких погибает более 15 тыс. человек, в Индии – более 20 тыс. человек. При дыхании радон и продукты его распада попадают непосредственно в легкие, а затем происходит длительное по времени внутреннее облучение организма ничего не подозревающего об этом человека. Подсчитано, что на долю радона приходится до 40% дозы облучения, получаемой населением от интенсивных источников радиации. Установлено, что увеличение концентрации радона во вдыхаемом воздухе вызывает разные физиологические сдвиги во всем организме. Он воздействует на гипофиз и кору надпочечников – органы, которые контролируют приспособительные функции организма, – на вегетативную нервную систему, а через нее и на работу сердца, желудка, других органов и систем. При всплесках концентрации радона примерно на 30% население испытывает тревожное состояние, сердцебиения, приливы крови, у людей начинается мигрень, бессонница, обостряются хронические заболевания.

Известно, что среди радиоактивных ядов радон – один из самых опасных. Не случайно допустимая для человека доза радона в 10 раз меньше допустимой дозы бета- и гамма-излучения. Уже через час после введения в кровь подопытному кролику сравнительно небольшой дозы радона (10 микрокюри) количество лейкоцитов в крови резко сокращается. Затем поражаются лимфатические узлы, селезенка и костный мозг. В живом организме задерживается не столько сам газ радон, сколько радиоактивные продукты его распада, которые с трудом выводятся из организма. Исследователи, работавшие с твердым радоном, подчеркивают непрозрачность этого вещества. А причина непрозрачности одна: моментальное оседание твердых продуктов распада, которые «выдают» весь комплекс излучений: малопроникающие, но очень энергичные альфа-лучи, бета-лучи и местное гамма-излучение. Продукты распада радона – твердые вещества, которые образуют так называемые аэрозоли; частицы настолько мелкие, что они могут очень долго находиться во взвешенном состоянии в воздухе, вместе с ним попадать в легкие и при неблагоприятных условиях вызвать лейкемию и рак.

Люди должны знать о радоновой угрозе, которая исходит даже от наших домов и квартир. Дело в том, что радон содержится в достаточно больших количествах в некоторых строительных материалах. Например, в красном кирпиче, щебне, глине, песке, цементе и др. Средняя удельная активность дерева – 0,2–0,5 Бк/кг, природного гипса и обычного бетона – 1,5–10 Бк/кг, а некоторых строительных материалов – на порядок выше. Например, в Финляндии применялся материал с активностью 1200 Бк/кг, в Швеции – 2600 Бк/кг, а в США – даже 4600 Бк/кг. Велика активность золы от сжигания угля. Поскольку радон в 7,5 раз тяжелее воздуха, то он медленно накапливается в жилых помещениях, особенно в непроветриваемых. Его количество можно определить только с помощью специальных приборов, что, кстати, постоянно делается в США, Финляндии, Норвегии, Германии, Франции, Англии, Японии. Именно в этих странах были разработаны нормативы, при превышении которых проживание в том или ином здании или работа в нем признается опасным для здоровья и жизни человека. В Швеции около 5 тыс. зданий признали вообще непригодными для проживания из-за чрезвычайно вы-

сокого уровня естественной радиоактивности. Во Франции максимальный уровень радиации за счет выхода радона на поверхность почти в 40 раз выше среднего, а на знаменитых курортах в Ницце и Каннах уровень фоновой радиации иногда повышается в 20 раз – и причиной тому радиоактивный газ радон [3].

Серьезные исследования были проведены в Великобритании, в результате чего в прессе, на радио и телевидении была поднята шумная кампания по поводу «радонового кризиса». Еще бы: более 30% домов в графствах Корнуэлл и Девон имеют активность больше 200 Бк/м³, да и в других частях страны есть такие же проблемы. Нормой содержания радона в жилых домах США, например, признано 50 Бк/м³, а в Беларуси – ровно в два раза больше. Более того, для ранее построенных домов эта норма составляет уже 200 Бк/м³ [3]. Нормы по определению радона в жилых помещениях Беларуси действуют только формально, так как контрольно-измерительной аппаратуры для их повсеместного применения у нас в достаточном количестве, к сожалению, нет. Правда, несколько лет назад медики проверяли ряд домов в Гомельской области, и оказалось, что в 0,1% проверенных домов концентрация радона в воздухе колебалась в пределах от 100 до 1000 Бк/м³. И хотя эти замеры были разовыми, превышение допустимых норм в десятки раз вызывает опасения. В Гродненской области на большой территории наблюдается высокое содержание радона в воде. Повышенное содержание радона в почве, а также источники близлежащих радононасыщенных вод и их использование могут привести к дополнительной дозовой нагрузке.

Кстати, впервые аномально высокие (до 25–28 кБк/м³) концентрации радона в почвенном воздухе тектонически ослабленных зон были определены еще в 1984 году в Гродненской области (а это в 5–6 раз превышает фоновое содержание). Отдельные измерения доз радона в Беларуси, по данным НПО «Перспектива» (Санкт-Петербург), показали, что для жителей Могилевской области они составляют 1,4–2,6 мЗв/год, Гомельской – 1,1–3,4 мЗв/год, Минской – 1,3–2,9 мЗв/год, Гродненской – 1,2–3,2 мЗв/год [6]. Из приведенных примеров видно, что с увеличением объема исследований, с расширением их географии растет количество объектов, где содержание радона превышает предельно допустимые значения, достигая в отдельных строениях весьма больших превышений. В США было показано, что около 3% жилых домов страны имеют превышение нормы в 5–6 раз, т. е. около 300 Бк/м³. Поскольку такое же облучение получает шахтер уранового рудника за 45 часов работы, было принято решение такие дома просто снести, а на новое жилье, возведенное на том же месте, в обязательном порядке выдавать особый документ, указывающий содержание радона [3].

Методы защиты от радоновой опасности достаточно просты: постоянное проветривание и вентиляция помещений, поддержание правильного баланса давления между внутренней и наружной атмосферой, а также грунтовым газом и использование газонепроницаемых конструкций в строительстве. При этом целесообразно исследовать содержание почвенного радона в предполагаемом месте будущего строительства на стадии проектирования. Расположение отдельных зданий и сооружений, а тем более новых населенных пунктов и поселков вблизи или над гранитоидными массивами или в зоне тектонических нарушений, а также сочетание этих природных факторов может являться причиной повышенного содержания радона в зданиях.

Естественное ионизирующее излучение – это совокупность космических и земных источников радиации. Получаемая землянами доза излучения от космогенных источников изучена достаточно хорошо, и хотя она является предсказуемой, но с трудом поддается регулированию. Ионизирующие источники земного происхождения формируются радионуклидами радиоактивных семейств урана, тория и радия, их короткоживущими продуктами распада (в том числе и радона), а также радиоактивными элемен-

тами периодической системы Д.И. Менделеева (например, калием-40). Их распределение в окружающей среде вместе с космическим излучением определяют естественный радиоактивный фон. Установлено, что основной фон на нашей планете (по крайней мере, пока) создается за счет естественных источников излучения. По данным ученых, доля естественных источников радиации в суммарной дозе, накапливаемой человеком на протяжении всей жизни, составляет 87%. Оставшиеся 13% приходятся на источники, созданные человеком. Из них 11,5% (или почти 88,5% «искусственной» составляющей дозы облучения) формируется за счет использования радиоизотопов в медицинской практике. И только оставшиеся 1,5% являются результатом последствий ядерных взрывов, выбросов с атомных электростанций, утечек из хранилищ ядерных отходов.

Радон образуется в недрах Земли в результате распада урана, который, хоть и в незначительных количествах, но входит в состав практически всех видов грунтов и горных пород. В процессе радиоактивного распада уран превращается в радий-226, из которого, в свою очередь, образуется радон-222. Особенно велико содержание урана в гранитовых породах. В районах, где породообразующими элементами является породы гранитной серии, можно ожидать и весьма высокого содержания радона и его изотопов.

Анализ содержания естественных радионуклидов в различных типах горных пород (по А.П. Виноградову) показывает, что оно закономерно возрастает от пород более щелочных к более кислым и от более древних к более молодым и достигает максимальных значений для кислых магматических пород, к которым относятся широко распространенные на территории Беларуси породы кристаллического фундамента. Естественные радионуклиды, в свою очередь, являются источниками эманаций. Конечным результатом перемещения радона по трещинам и пустотам, имеющимся в горных породах, является его выделение в тектонические трещины (разломы), в перекрывающие рыхлые отложения или в атмосферный воздух, в том числе в пространство под зданиями.

Распространение радона по трещинам, разломам и порам горных пород и почв с момента образования до выхода на поверхность Земли достигает нескольких десятков дней и является практически постоянным. Уран и радий содержатся в земной коре в больших или меньших количествах постоянно, поэтому и радон отмечается на любых территориях повсеместно. Иными словами, практически вся земная кора выделяет радон, который, конечно же, стремится заполнить любые пустоты в земной тверди. Поэтому очень высока, например, концентрация радона в подземных горных выработках, причем не только в тех шахтах, где добываются радиоактивные руды. Мы уже отмечали, что основным источником радиоактивного инертного газа радон является уран. Период полураспада радона – 3,82 суток. Отсюда легко подсчитать, что из 1 т урана за 3,82 суток (если поддерживать постоянное давление) образуется 0,0000023 г радона. Если учесть природные факторы (концентрацию урана, глубину залегания, наличие каналов для выхода на поверхность), степень рассеивания, отсутствие в среднем заметного повышения естественного фона на поверхности, можно сделать вывод о том, на каких урановых запасах мы порой живем. Иначе о радоне не было бы и речи. Радон относительно легко покидает кристаллическую решетку «родительского» дома и попадает в подземные воды, природные газы и воздух. Поскольку наиболее долгоживущим из всех природных изотопов радона является радон-222, то именно его содержание в этих средах максимально – он уверенно держит «пальму первенства» среди всех естественных источников радиации и обуславливает до 30–32% общей радиационной дозы.

Концентрация радона в воздухе зависит в первую очередь от геологической среды. Так, граниты и горные породы гранитной серии, в которых много урана, являются активными источниками радона, в то время как над поверхностью морей и крупных озер радона практически нет. Много зависит и от метеоусловий: во время дождей

микротрещинки, по которым радон поступает из почвы, заполняются водой, снежный покров и ледяная корочка препятствуют доступу радона в воздух – происходит как бы герметизация путей выхода радона на поверхность земли. Летом же, в период оттаивания, возможно усиление потока эманации на поверхность. Перед землетрясениями наблюдается повышение концентрации радона в воздухе, вероятно, благодаря более активному обмену воздуха в грунте вследствие роста микросейсмической активности.

Интересен (пока на уровне дискуссий) вопрос о важной роли собственно атмосферных источников радона в поверхностных грунтах. Так, по данным М.И. Автушко [1] обнаружена прямая связь концентрации радона в атмосфере Земли и параметрами его эманирования с поверхности земной суши в атмосферу. Эти данные показывают, что общее содержание радона в атмосфере значительно превышает то количество, которое поступает в атмосферу из земной коры. Очевидно, что избыток радона в атмосфере обусловлен его поступлением из вещества, содержащегося непосредственно в самой атмосфере. Авторы в зависимости от природы вещества, постоянно содержащегося в атмосфере, выделяют две группы: земные и космические. К первой группе отнесено находящееся в атмосфере вещество, содержащее уран: продукты вулканических извержений, частицы пыли, перемещаемые ветром, выбросы промышленных предприятий. Во вторую группу включено метеоритное вещество, большая часть которого сгорает в атмосфере. По количеству доставляемого на земную поверхность урана-238, продуцирующего радон, этот источник не уступает земным источникам. Так, одна тонна метеоритного вещества в среднем содержит 1г урана-238, который способен продуцировать $1,2 \times 10^4$ беккерелей радона.

Ранее мы отмечали некоторые области в Беларуси с повышенным содержанием радона. В геолого-структурном отношении к ним относятся регионы, связанные с Белорусским кристаллическим массивом, Микашевичским кристаллическим выступом, частично с Припятским прогибом и Подляско-Брестской впадиной. По данным БелНИГРИ, более 20% территории республики относится к разряду радоноопасных, что связывается как с неглубоким залеганием гранитоидов кристаллического фундамента, так и с широким развитием активных разрывных нарушений, дренирующих глубинные зоны эманирования. Установлено аномальное распределение радона в почвенном воздухе надразломных зон в пределах Воложинского грабена, обнаружены аномальные содержания радона в почвенном воздухе надразломных зон на Скидельском, Рогачевском, Дуброхинском и Горецко-Шкловском участках (до 15,0–25,0 кБк/м³). Подобные данные получены также и для ряда зон тектонических разломов Минска. С разрывными нарушениями связывается повышение концентрации радона в почвенном воздухе, что подтверждается работами М.И. Автушко, А.В. Матвеева, Л.А. Нечипоренко [2; 7]. При этом радоновые аномалии увязываются не только с возрастанием урановой минерализации горных пород в зонах дизъюнктивных дислокаций, но и с протекающими активными геодинамическими и геохимическими процессами. Более того, практически подтверждено существование зависимости между содержанием радона в грунтах и геодинамическими факторами, параметры влияния которых накладываются друг на друга, что определяет сложно-периодическую картину флюктуации измеренных данных.

О радоноопасности территории Беларуси говорят интересные данные геологов по содержанию радона в подземных водах и артезианских скважинах. В Гродненский, Минской и Витебской областях геофизические условия способствуют интенсивному выделению радона из почвы. Кроме того, в Гродненской области на большой территории наблюдается высокое содержание радона в воде. Повышенное содержание радона в почве, а также источники близлежащих радононасыщенных вод и их использование могут привести к дополнительной дозовой нагрузке. Территории Беларуси в целом

свойствен обширный спектр разнообразных по составу и свойствам минеральных вод и рассолов. Исключением являются участки в пределах Белорусской антеклизы и Полесской седловины, где вскрыта зона целиком пресноводного разреза осадочного чехла, хотя и здесь известны радоновые подземные воды.

Но от радона есть и вполне определенная польза, на что в последние годы все больше и больше обращается внимание. Способность радона адсорбироваться на металлических поверхностях и не диффундировать вглубь позволяет использовать его для определения поверхности металлических предметов. Радон успешно применяют в геологии для качественной оценки сохранности кристаллической структуры радиоактивных минералов, используемых изотопной геохронологией. С помощью радоно-ксенонового метода определяется возраст урановых минералов, а сам радон применяется в качестве радиоактивного газа для исследования утечки трубопроводов, скорости движения газов, изготовления радон-бериллиевых источников нейтронов.

Выделение радона твердыми телами, содержащими материнский элемент (эманирование), зависит от температуры, влажности и структуры тела и меняется в очень широких пределах. Отсюда большие возможности эманационного метода исследования твердых веществ. На определении концентрации радона в поверхностном слое воздуха основаны эманационные методы разведки урановых и ториевых руд. По эманационным аномалиям геофизики судят о содержании радиоактивных руд в различных участках земной коры на больших глубинах. Сравнительно недавно учеными было установлено повышение концентрации радона и некоторых других элементов в подземных водах, находящихся вблизи эпицентра землетрясения, что позволило создать метод прогноза землетрясений, который уже не раз оправдывал себя на практике.

Изучение радона помогает исследовать состояние и дефекты различных материалов, в частности, радоновыми индикаторами успешно пользуются для контроля противогазов на их герметичность. Радон помогает следить за ходом технологических процессов в производстве таких необходимых материалов, как сталь и стекло. В сельском хозяйстве радон используется для активации кормов домашних животных, в гидрологии – для исследования взаимодействия грунтовых и речных вод. И, конечно, радон издавна используется в медицине, где с помощью радоновых ванн и целого ряда специфических операций на основе радоновой воды лечатся многие заболевания.

Опасное воздействие радиации на организм человека общеизвестно. По данным ООН, в ежегодной дозе облучения, получаемой человечеством, доля воздействия продуктов от вредных испытаний составляет всего 0,7%, от работы АЭС – 0,3%, а вот доля медицинских исследований (рентген, радио- и лазеротерапия) гораздо выше – 34% всей годовой дозы. Сопоставима с этой доля природных источников радиации (естественный фон излучения, зависящий от геологических и планетарных факторов) – 22%. Основная же доля радиации приходится на воздействие атмосферных продуктов распада радиоактивного газа радона – 43%. Так что радон намного опаснее Чернобыля и его негативных последствий [4]. И несмотря на это, радон полезен, особенно радоновые воды. При этом они могут быть как из естественных источников, содержащих радон, так и из искусственных, насыщенных радоном.

Природа на удивление изобретательна и многообразна. То, что крайне опасно и порой смертельно, может при определенных обстоятельствах приносить ощутимую пользу. Например, лечение ряда заболеваний методом радиотерапии, при котором происходит облучение организма человека радоном. Причём в организм проникает около 1% радона, содержащегося в воде. Радиоактивность (в том числе и радоновая) в малых дозах является жизненно необходимым условием, стимулирующим защитные и иные функции организма. Поэтому можно твердо говорить, что радон хоть и опасен, но чрез-