

4. Майдуков, Г. Л. Комплексное использование угольных месторождений Донбасса как основа экологической безопасности и энергосбережения в регионе / Г. Л. Майдуков // *Економічний вісник Донбасу*. – 2007. – №4 (10). – С.12 – 19.

УДК 502.17: 546.296

МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В РОДНИКАХ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Савинова Л.Н., Вакунин Е.И., Коряков А.Е.
Тульский государственный университет

Представлены результаты гамма-спектрометрических измерений содержания радона и дочерних продуктов его распада в 47 источниках водоснабжения Тульской области. Дано геологическое обоснование повышенному содержанию радона в источниках Тульской области. Установлена прямая корреляция между среднегодовой удельной активностью радона и уровнем новообразований у населения.

Тульская область характеризуется повышенным естественным радиационным фоном. Основной вклад в естественную радиоактивность и в уровень облучения окружающей среды и человека за счет естественных источников радиации вносит радон и дочерние продукты его распада. Повышенное содержание радона в водных источниках может рассматриваться как показатель потенциальной радоноопасности территории.

Земная кора с самого начала своего образования содержит естественные радиоактивные элементы, создающие естественный радиационный фон. В горных породах, почве, атмосфере, водах и тканях живых организмов присутствуют радиоактивные изотопы калия-40, рубидия-87 и члены трех радиоактивных семейств, берущих начало от урана-238, урана-235 и тория-232. После длинной цепи преобразований образуются, в конце концов, стабильные изотопы свинца.

Единственным газообразным продуктом, который рождается в процессе распада трех семейств ЕРЭ, является радон. Три α -радиоактивных изотопа радона встречаются в природе как члены естественных радиоактивных рядов: Rn-219 (член ряда актиноурана, период полураспада 3,92 сек); Rn-220 (ряд тория, период полураспада 54,5 сек) и Rn-222 (ряд урана - радия, период

полураспада 3,823 сут). Изотоп Rn-222 называется истинным радоном и часто обозначается просто символом Rn.

По оценкам Научного Комитета по Действию Атомной Радиации (НКАДР) ООН, именно радон вносит основной вклад в естественную радиоактивность атмосферного воздуха и в уровень облучения окружающей среды и человека за счет естественных источников радиации. Он ответственен примерно за 75 % годовой индивидуальной Эффективной Эквивалентной Дозы (ЭЭД) облучения. Считается, что из всех изотопов радона наибольший вклад в суммарную дозу облучения вносит Rn-222, что примерно в 20 раз больше вклада Rn-220. ЭЭД формируется в основном не за счет самого радона, а за счет его дочерних продуктов распада (ДПР), которые являются альфа-, бета-, гамма-излучателями. Доза от самого радона составляет лишь 1 % от суммарной [1].

В связи со сказанным перед регионом встает задача изучения пространственно-временной изменчивости естественного фона ионизирующего излучения, поиск зон, характеризующихся повышенным фоном, установление вкладов природной и техногенной составляющих, непрерывный контроль радиоактивного загрязнения воздуха, питьевой воды, почвы, растительных и животных организмов, выявления радиологически чистых зон, пригодных для проживания и строительства.

Концентрация радона в объектах окружающей среды в первую очередь зависит от геологической обстановки. Источники поступления радона, непосредственно связанные с земными недрами, представляют две группы:

1) источником являются радононосные тектонические зоны, которые характеризуются резко аномальными концентрациями радона, во много раз превышающими местный геохимический фон;

2) источниками являются сами горные породы, радон поступает за счет высокого геохимического фона радона в породах. Этот повышенный местный геохимический фон может создать значительные по площади радононосные участки, в пределах которых концентрация радона практически повсеместно может превышать ПДК в десятки раз.

При районировании территории России по степени радоноопасности к площадям опасным по радону отнесены регионы, в которых установлены специализированные на уран горные породы, рудопроявления и месторождения урана. К площадям потенциально опасным по радону отнесены те регионы, в кото-

рых специализированные на уран горные породы развиты незначительно и не выходят на поверхность.

Содержание радона в окружающей среде зависит от концентрации материнских элементов в породах и почвах. Наиболее высокие концентрации урана (радия) свойственны изверженным (магматическим) породам, в особенности гранитам. Высокие концентрации урана также могут быть приурочены к темноцветным сланцам, осадочным породам, содержащим фосфаты, а также метаморфическим породам, образовавшимся из этих отложений. Почвы, обломочные отложения, образовавшиеся в результате переработки вышеназванных пород, также будут обогащены ураном.

Кроме этого основными источниками-содержателями радона являются горные и осадочные породы, содержащие уран (радий):

- бокситы и углистые сланцы тульского горизонта нижнего карбона, залегающие на глубинах от 0 до 50 м с содержанием урана более 0,002 %;

- углеродисто-глинистые диктионемовые сланцы нижнего ордовика, залегающие на глубинах от 0 до 50 м с содержанием урана от 0,005 % и до 0,17 %;

- углеродсодержащие гравелиты песчаников и алевролитов гдовского горизонта венда, залегающие на глубинах от 0 до 100 м с содержанием урана более 0,005 %;

- граниты рапакиви верхнего протерозоя, залегающие приповерхностно и имеющие содержание урана более 0,0035 %;

- калиевые, микроклиновые и плаггиомикроклиновые граниты протерозойско-архейского возраста с содержанием урана более 0,005 %;

- гранитизированные и магматизированные архейские гнейсы, залегающие приповерхностно, в которых урана более 3,5 г/т.

В результате радиоактивного распада атомы радона попадают в кристаллическую решетку минералов. Ввиду химической инертности радон относительно легко покидает кристаллическую решетку "родительского" минерала и попадает в подземные воды и воздух. Процесс выделения радона из минералов и пород в поровое или трещинное пространство получил название эманирования. Поскольку наиболее долгоживущим из четырех природных изотопов радона является Rn-222, именно его содержание в этих средах максимально.

Дальнейшая судьба радона связана с характером заполнения порового пространства. Выше уровня грунтовых вод радон как

всякий газ распространяется по законам диффузии. Ниже уровня грунтовых вод радон может мигрировать вместе с водой. Дальность миграции радона определяется его периодом полураспада и не может быть большой. Для сухой породы она больше, однако, как правило, радон мигрирует в водной среде. Именно поэтому наибольший интерес представляет изучение поведения радона в воде.

В зависимости от геологических и гидрогеологических условий в различных районах земли создаются условия для формирования широкого спектра фоновых концентраций радона. В России выявлены зоны с концентрацией радона в воде в 300-400 Бк/л. Воды с содержанием радона более 180 Бк/л уже относят к радоновым:

- 1) очень слабо радоновые с активностью от 180 до 750 Бк/л;
- 2) слабо радоновые с активностью от 750 до 1500 Бк/л;
- 3) радоновые средней концентрации с активностью от 1500 до 7500 Бк/л;
- 4) высоко радоновые с активностью более 7500 Бк/л.

Из-за разнообразия условий радононакопления в водах в разных странах приняты различные величины предельно допустимых концентраций радона, которые ограничивают использование вод с высоким содержанием радона. Так, в Финляндии предельно допустимые концентрации установлены на уровне 300 Бк/л, в Швеции - 300 Бк/л, в Ирландии - 200 Бк/л. В России нормы радиационной безопасности, принятые в 1999 г, устанавливают предельно допустимое содержание радона в воде в 60 Бк/л при отсутствии в воде других радиоактивных веществ. При этом Агентство по охране окружающей среды США (USEPA) рекомендует в качестве предельной величину содержания радона в воде на уровне 11 Бк/л [2, 3].

Повышенные концентрации радона в подземных водах могут быть обусловлены следующими причинами:

1. высокими концентрациями урана, в том числе урановыми рудами;
2. обогащением пород радиоактивными минералами (монацитом, ортитом, ксенотимом, циртолитом и др.);
3. вторичное обогащение пород радием в результате его химического осаждения и сорбции;
4. интенсивной тектонической раздробленностью пород, обуславливающей высокую дегазацию, в том числе эманирование.

Рассмотрим влияние указанных факторов на концентрации радона для условий Тульской области. В нашем регионе наибольшую долю в суммарные концентрации радона в подземных водах, по всей видимости, вносят скопления радия, связанные с геохимически аномальными и рудными концентрациями урана в угленосных породах визе. На территории, в геологическом отношении обозначенной как Подмосковский угольный бассейн, располагается наряду с месторождениями угля целая сеть мелких месторождений бедных урановых руд, которые залегают на глубинах от 3 до 120 метров.

В Тульской области урановые проявления имеются практически во всех районах распространения угленосных отложений. Три рудопроявления (Нечаевское, Казначеевское и Лаптевское) расположены на севере области. Они приурочены к маломощным углисто-глинистым прослоям среди известняков окского и серпуховского верхнего визе. Рудопроявления Веригинское и Щекинское расположены в центральной части области и связаны с собственно угленосными отложениями яснополянского горизонта.

Все рудопроявления и аномальные концентрации урана в Тульской области относятся к одному урано-угольному формационному типу. Такого рода скопления широко распространены в природе. Их образования связаны с геохимическими особенностями поведения урана в зоне гипергенеза, где уран хорошо мигрирует в водной среде в шестивалентной форме в окислительных по урану средах. Поэтому в большинстве случаев в зоне активного водообмена преобладают условия рассеяния урана природными водами. Однако существуют обстановки, где действуют геохимические барьеры, на которых уран осаждается.

В гипергенных условиях намечается следующий ряд геохимических барьеров урана по степени распространенности:

1. Восстановительный сероводородный от биогенного или абиогенного сероводорода;
2. Восстановительный резко глеевый за счет водорода, продуцируемого бактериями;
3. Сорбционный;
4. Термодинамический, включающий барьер нейтрализации ураноносных щелочных или кислых вод растворами, содержащими соединения ванадия, фосфора, молибдена и мышьяка без изменения их валентности, с которыми уран в форме уранила дает твердые фазы;

5. Эвапорационный, когда уран выпадает из перенасыщенных растворов;

6. Механический, формирующий за счет образования россыпей ураносодержащих минералов.

Для рассматриваемых ураноносных угленосных отложений Тульской области наиболее вероятны его скопления из древне-грунтовых, сорбционного и нейтрализационного барьеров. Время действия таких вод с самими крупными региональными осадконакоплениями на Русской платформе - предвизейским и предюрским.

Вдоль крупных зон скрытой трещиноватости возможны собственные геохимические аномалии радона. Имеющиеся данные по тектоническому строению южного крыла Московской синеклизы указывают на три основные зоны глубинных разломов, включая центральную Калужско-Тульскую, сопровождающуюся интенсивной тектонической трещиноватостью как чехла, так и фундамента платформы. Региональные зоны разломов имеют отчетливое выражение в неотектонических структурах, что наиболее существенно для путей эксгаляции радона с глубоких горизонтов разреза платформенного чехла.

Существенные урановые концентрации в регионе могут быть связаны с фосфоритами (осадочные горные породы, сложенные более чем на 50 % аморфными или микрокристаллическими минералами группы апатита) юры и мела. В последних отмечаются почти рудные (до 100 г/т) скопления урана.

Скопления радия в соединениях бария и, особенно, в хлоридных высокоминерализованных артезианских водах так же вполне вероятны. Дело в том, что в среднепозднедевонских подсолевых отложениях Тульской области имеют место бессульфатные рассолы с минерализацией до 35 – 181 г/л. Состав вод удовлетворяет возможности растворения солей кальция, магния, стронция, бария и радия [4 – 6].

Объектами исследования служили родники и колодцы на территории Тульской области, где количественно определялось содержание радона и ДПР. Исследования проводились на полупроводниковом гамма-спектрометре.

Получены результаты измерения концентрации радона в 47 источниках водоснабжения Тульской области. Концентрация радона в 43 % обследованных источников превышает допустимый уровень содержания радона и ДПР в питьевой воде по γ -фону (60 Бк/л). Особенно высокие концентрации его, превыша-

ющие 200 Бк/л, следует отметить в Щекинском, Веневском, Заокском и Богородицком районах Тульской области.

Повышенное содержание радона в воде родников и других источников является индикатором потенциальной радоноопасности территории.

Авторы работ по эпидемиологии для установления тех или иных зависимостей между переменными широко используют методы статистической обработки результатов, в том числе метод корреляционного анализа. Представлялось заманчивым применить этот метод к обработке собственного массива данных с целью выявления связи между среднерайонным содержанием радона в водных источниках, отражающим степень радоноопасности территории, и среднемноголетним уровнем новообразований у населения.

Данные для выявления возможной зависимости на модели Тульской области сведены в таблицу 1, на модели Щекинского района – в таблицу 2.

Расчет коэффициентов корреляции проводился с помощью программы Statistica - 6.0. Положительные и близкие к единице коэффициенты корреляции (соответственно, 0,84 и 0,86) можно рассматривать как дополнительное подтверждение существования связи между повышенным радиационным фоном (основной вклад в дозу от которого вносят радон и ДПР) и уровнем новообразований у населения.

Таблица 1 – Данные для корреляционного анализа на модели Тульской области

Районы	Среднегодовая удельная активность радона		Среднемноголетний канцерогенез на 100 тыс. населения
	RaB (Бк/л)	RaC (Бк/л)	
Алексинский	136	124	296,4
Арсеньевский	46	53	290,8
Белевский	51	36	297,6
Веневский	201	189	337,9
Заокский	216	199	356,7
Каменский	52	63	301,6
Т-Огаревский	61	73	305,5
Чернский	49	57	304,3
Щекинский	204	213	390,3
Ясногорский	151	148	328,3
$r_{\text{Rn-Cancer}} = 0,84$			

Таблица 2 – Данные для корреляционного анализа на модели Щекинского района

Щекинский район, административные образования	Среднегодовая удельная актив- ность радона		Среднемноголетний канцерогенез на 100000 населения
	RaВ (Бк/л)	RaС (Бк/л)	
Яснополянский	47	38	336,9
Первомайский	260	310	402,4
Крапивенский	328	246	409,4
Царевский	204	223	375,0
Советский	59	73	368,4
Ломинцевский	262	200	376,5
$r_{\text{Rn-Cancer}} = 0,86$			

Библиографический список

1. Смыслов А.А., Харламов М.Г. *Естественные радионуклиды в земной коре и проблемы радиоэкологии* // Советская геология. 1992. вып. 4. с. 72-78.
2. Токарев А.Н. *Основные закономерности формирования природных радиоактивных вод* /А.Н. Токарев //Тр. ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии. 1975. - Вып. 89. - С. 88-89.
3. Столяров А.С., Ивлева Е.И. *Ергенинский ураново-редкометалльный район Калмыкии* // Минеральное сырье № 19. М.: РИС ВИМС, 2008. - 170 с.
4. Игнатов П.А. и др. *Радиогеоэкологическое районирование Тульской области*// Изв. ТулГТУ. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. Тула:ТулГТУ. 1994. с.60-68.
5. Котляров А.А., Кривошеев С.В., Курепин А.Д. /Жур. АНРИ, №2, 1994. с.4-60.
6. Котляров А.А., Кривошеев С.В., Курепин А.Д. /Жур. АНРИ, №3, 1994. с.29-37.