

ОСОБЕННОСТИ РАДИАЦИОННОГО РИСКА НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

И.В. Удалов, А.В. Кононенко, А.И. Лурье

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина

E-mail: igorudalov8@gmail.com, kononenko_alina01@ukr.net

Описаны особенности радиационной опасности на территории Северо-Восточного Донбасса. Систематизированы и охарактеризованы виды радонового риска на примере геолого-промышленных районов Северо-Восточного Донбасса. Выявлены природная и техногенная составляющие радиационной опасности для территории исследований. Отдельно дана характеристика геологическим предпосылкам возникновения радиационной опасности на примере подземных вод, используемых местным населением для питьевых целей. Приведен практический расчет радиационного риска.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ литературных источников [1–3] показывает, что понятие «риск» многоплановое и имеет множество различных толкований в зависимости от области применения и стадий анализа опасности. В нашей работе внимание уделено экологическим рискам, возникающим в связи с обнаружением отходов угледобычи с техногенно-повышенной естественной радиоактивностью на некоторых угледобывающих предприятиях Донбасса. Под радиационным риском понимают вероятность возникновения стохастических эффектов (смертность, заболеваемость), обусловленных воздействием ионизирующего излучения, в совокупности с величиной ущерба или последствий от них [2]. Источником ионизирующего излучения в данном случае выступает ^{222}Rn , поскольку на его долю приходится более 70% годовой дозы облучения населения не только на территории Северо-Восточного Донбасса, но и в целом в Украине [4, 5].

Проблема радиационной опасности стала актуальной для Донбасса в связи с многолетней добычей угля, а впоследствии и закрытием угольных шахт путем «мокрой» консервации. Результаты эколого-геологических работ, выполненных в ряде геолого-промышленных районов (ГПР) Донбасса, подтверждают, что в процессе добычи угля образуются отходы, содержащие повышенные концентрации естественных радионуклидов. «Мокрая» консервация угольных шахт, проводившаяся в 90-е гг. прошлого века, существенно обострила радиационно-экологическую обстановку на этой территории. Результаты работ, проведенных в Алмазно-Марьевском ГПР Северо-Восточного Донбасса, позволили зафиксировать повышенные концентрации не только ^{222}Rn в рудничной атмосфере, но и других естественных радионуклидов – ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K в грунтах, поверхностных и подземных водах, а также в отходах угледобычи шахтных полей шахт «Луганская», «Пролетарская» и имени Г.Г. Капустина. В этой связи возникла необходимость в оценке радиационного радонового риска для исследуемой территории.

Как известно, существует два подхода к оценке радиационного радонового риска [6]. Первый подход – геологический, второй – радиационно-гигиенический. При использовании первого подхода основной информацией, необходимой для определения радонового риска, являются данные о содержании естественных радионуклидов в горных породах, наличии тектонических разломов, объемной активности почвенного ^{222}Rn , проницаемости почвы, наличии в подземных водах ^{222}Rn и т. п. Для радиационно-гигиенического подхода характерна ориентация на проведение массовых измерений объемной активности ^{222}Rn и его дочерних продуктов распада в атмосфере жилых и производственных помещений [7]. При этом геологическая информация носит, как правило, уточняющий, вспомогательный характер. В работе [6] указано, что, несмотря на то, что одним из критериев определения радонового риска является повышенная концентрация ^{222}Rn в помещениях, границы радоноопасных зон в отдельных регионах должны быть установлены на основе геологических критериев, поскольку общий радиационный фон на территории этих регионов во многом определяется особенностями их геологического строения. Обобщая вышеперечисленное, необходимо отметить, что оценка геологической информации является базой для выявления радоноопасных зон, а радиационно-гигиенический подход позволяет более четко оценить влияние радиационного излучения на человека [8–11]. В данной работе применяется комплексный подход в оценке радонового риска. Он основывается на анализе массива геологических и радиационно-гигиенических данных. В нашем случае этот подход применяется к одному из компонентов геологической среды – подземным водам, которые используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения ГПР Северо-Восточного Донбасса. Связано это с фиксацией ^{222}Rn в подземных водах водозаборов промышленных предприятий, находящихся в зоне влияния ликвидированных угольных шахт Северо-Восточного Донбасса и других регионов востока Украины. Также повышенные концентрации ^{222}Rn обнаружены в колодцах, скважинах, родниках, используемых

местным населением для питьевых целей. Прогнозируется, что значительная часть населения, используя перечисленные выше источники для питьевых нужд, попадает в зону повышенного радиационного радонового риска.

Целью статьи является определение и характеристика видов радиационного радонового риска на примере ГПР Северо-Восточного Донбасса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Общий подход к классификации рисков представлен в монографии «Природный, техногенный та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління» [2]. Авторами предложено выделять виды рисков, описывающие составные части техногенной, природной и экологической опасности. Практически все указанные виды рисков являются составными частями комплексных экологических проблем, связанных с коренным техногенным изменением состояния окружающей природной среды на территории Северо-Восточного Донбасса. В связи с этими особенностями по источникам риска на данной территории нами выделены природный, техногенный и бытовой радоновые риски, и осуществлена их характеристика.

Характеризуя природный радоновый риск, необходимо подчеркнуть, что это – вид риска для населения, связанный с негативным воздействием радиационного источника природного происхождения. В данном случае источником природной радоновой опасности являются угленосные толщи и отходы угледобычи, содержащие повышенные концентрации ^{226}Ra и ^{222}Rn . Содержание свободного ^{222}Rn в каменном угле может достигать 100 Бк/м^3 и более [6]. При этом окислительная среда способствует интенсивному переходу ^{238}U и ^{226}Ra , а вместе с ними и ^{222}Rn из угольных пластов в подземные воды. Ввиду химической инертности ^{222}Rn относительно легко покидает кристаллическую решетку «материнского» минерала и попадает в подземные воды, насыщенные природными газами, а впоследствии и в атмосферу [12]. В частности, это подтверждается высокой радиоактивностью иловых отложений в местах мойки вагонеток и в отстойниках шахтных вод шахт «Луганская» и «Пролетарская» [13, 14].

Что касается техногенного радонового риска – он возникает в результате техногенной активизации газовой миграции при «мокрой» консервации угольных шахт. Как показывают исследования [13], природный и техногенный радоновые риски пребывают в тесной взаимосвязи. При этом техногенный источник радоновой опасности, скорее, выступает катализатором природного. В подтверждение сказанного нами установлено, что основной комплекс факторов активизации миграции естественных радионуклидов в подземных водах связан с автореабилитационным подъемом уровней этих вод, а также с переориентацией воздействия техногенных факторов на формирование

специфических эколого-гидрогеологических условий [13].

Анализ данных по бытовому радоновому риску подтверждает вероятность гибели человека в результате несчастного случая в быту при долговременном вдыхании паров ^{222}Rn и (или) потреблении воды, содержащей повышенные концентрации ^{222}Rn [6, 7]. Интересно, что источниками ^{222}Rn в доме являются не только подземные воды, а также почва породы под домом, внешний воздух, строительные материалы, природный газ и т. д. [5, 6].

Относительно опасности высоких концентраций ^{222}Rn в воде существует несколько обстоятельств. Во-первых, это непосредственное потребление воды с повышенной концентрацией ^{222}Rn и продуктов его распада. Во-вторых, значительная часть ^{222}Rn при использовании воды в бытовых целях переходит в атмосферу. В-третьих, при использовании такой воды в банях, душе почти весь ^{222}Rn переходит в атмосферу закрытых помещений – и это самый опасный вид радонового риска из вышеописанных. Здесь уместно обратить внимание на то, что суммарная доза радиации при использовании воды с повышенной концентрацией ^{222}Rn может быть очень высокой, и это может крайне негативно сказаться на здоровье человека [12, 6]. На территории Северо-Восточного Донбасса существует опасность этого вида риска, поскольку помимо родников повышенные концентрации ^{222}Rn обнаружены и в эксплуатационных скважинах Светличанского водозабора. Содержание ^{222}Rn в этих скважинах составляет от 150 до 240 Бк/дм^3 , при норме до 100 Бк/дм^3 [13, 15]. Фиксация ^{222}Rn в водозаборных скважинах свидетельствует об усилении газовой миграции и подходе «фронта» загрязнения к водозаборным скважинам, которые являются основными источниками питьевого водоснабжения населения на данной территории. Кроме того, дополнительным фактом, подтверждающим опасность радонового загрязнения, является то, что ^{222}Rn хорошо растворяется в воде и может переноситься на значительные расстояния, несмотря на небольшой период полураспада [12, 16].

Подобным образом нами выделены следующие виды радонового риска, а именно: индивидуальный, социальный, территориальный и коллективный. В исследуемом случае индивидуальный риск – риск, которому подвергается человек в результате воздействия факторов опасности, или вероятность гибели человека, находящегося в данном регионе, от возможных источников опасности в течение года с учетом вероятности его пребывания в зоне поражения.

Социальный риск – вероятность гибели людей более определенного количества (или ожидаемое количество погибших) в данном регионе в течение определенного периода от возможных источников опасности с учетом вероятности их пребывания в зоне поражения.

Территориальный риск – пространственное распределение вероятности реализации негативного

влияния поражающих факторов; вероятность гибели человека в течение года, который находится в конкретном месте пространства, от возможных источников опасности.

Коллективный риск – это риск проявления опасности того или иного вида для определенной социальной или профессиональной группы людей.

Наблюдения подтверждают, что на территории ГПР Северо-Восточного Донбасса перечисленным видам риска подвержены все категории населения, что подчеркивает исключительную важность и значимость рассматриваемой проблемы. Нельзя не согласиться с существующим мнением, что это связано с повсеместным использованием подземных вод, содержащих высокие концентрации ^{222}Rn , для хозяйственно-питьевых целей.

В продолжении по масштабах опасности можно выделить такие виды радонового риска – абсолютно приемлемый, приемлемый, предельно допустимый и недопустимый. Выделение каждого из представленных видов риска основано на предельно допустимых уровнях индивидуального радонового риска с учетом всего комплекса экологических требований. Как подтверждают исследования, общая радиационная ситуация на территории ГПР Северо-Восточного Донбасса находится в пределах нормы – абсолютно приемлемая или приемлемая. Однако существуют локальные территории с повышенным содержанием естественных радионуклидов, находящихся в зонах влияния крупных тектонических нарушений и функционирования шахтных предприятий. Соответственно и масштабы риска на этих территориях будут различаться в зависимости от близости расположения водозаборов подземных вод к зонам тектонических нарушений и шахтным предприятиям. Чем ближе к таким зонам, тем масштаб опасности будет выше – от предельно допустимого и до недопустимого уровня соответственно.

Продолжая описание категорий рисков, авторами по источникам риска выделены внешний и внутренний радоновые риски. Что касается внешнего радонового риска, его выделение основано на распространении ^{222}Rn во внешней среде. Здесь необходимо отметить, что прежде чем перейти во внешнюю среду, ^{222}Rn длительное время пребывает в горных выработках. И только благодаря фильтрационно-диффузионным процессам при нагреве угля и пород, ^{222}Rn под воздействием паров воды и рудничных газов диффундирует в действующие выработки и к поверхности земли по макротрещинам горного массива и аэродинамическим каналам выработанного пространства. Собственно, таким образом ^{222}Rn поступает в жилые дома вместе с водой и воздухом.

В то же время внутренний радоновый риск непосредственно связан с длительностью пребывания ^{222}Rn в горной выработке. Исходя из описанного выше процесса диффундирования ^{222}Rn во внешнюю среду и длительности пребывания ^{222}Rn в горной выработке, появляется основание

говорить о трансформации внутреннего радонового риска во внешний. Вместе с тем распространение свободного ^{222}Rn в горных породах, подземных водах является причиной появления значительного количества ^{222}Rn и других газов в неветилируемых горных выработках угольных шахт. Отсюда и повышенное влияние ионизирующего излучения ^{222}Rn на здоровье горняков. Однако в данной ситуации принудительная вентиляция выработок позволяет снизить концентрацию ^{222}Rn и других газов в атмосфере, подземных водах до допустимого уровня [17].

В зависимости от профессии человека выделены профессиональный и непрофессиональный риски. По особенностям восприятия человеком выделены также добровольный и принудительный виды рисков. Предлагаем объединить эти понятия, поскольку они перекликаются, и рассматривать их в таком виде: профессиональный – принудительный и непрофессиональный – добровольный риски. Исходя из этого, профессиональный риск – это вероятность нанесения вреда здоровью или утраты трудоспособности, либо смерти работающего в результате воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов. В условиях данного вида риска пребывают шахтеры угольных шахт Северо-Восточного Донбасса. В тесной взаимосвязи с профессиональным риском находится принудительный риск, поскольку принудительный риск связан с необходимостью выполнения профессиональных обязанностей человеком в экстремальных (принудительных) условиях. Этот вид риска имеет непосредственное отношение к профессии шахтера. В этом случае индивидум имеет право знать величину риска, связанного с работой, и имеет право рассчитывать на социально-экономические компенсации со стороны работодателя за дополнительный риск. Подтверждением радиационной опасности профессионально-принудительного риска является повышенная концентрация ^{222}Rn , который высвобождается из горных пород в непроветриваемых или слабоветриваемых объемах (горные выработки, выработанное пространство, камеры, тупиковые выработки, ниши, шахтные воды и т. п.). В таких местах эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов ^{222}Rn в воздухе нередко превышает допустимый уровень в десятки и даже сотни раз [7]. Соответственно и влияние на здоровье шахтеров повышается в разы.

Существует также опасность и непрофессионального – добровольного риска. Многочисленными исследованиями установлено, что люди, не входящие в зону риска по профессии, могут также сталкиваться с концентрациями ^{222}Rn в воде, воздухе на уровне 2–5 ПДК и выше. Подобные концентрации достаточно часто встречаются в воде родников и каптированных источников (Харьков, Изюм, Барвенково, Славянск, Кировск, Кременная) [18, 19]. Собственно, эта ситуация свойственна для исследуемой территории вследствие геологических

особенностей местности и ряда других факторов, рассмотренных выше [3, 6]. В этой ситуации непрофессиональный и добровольный риски рассматриваются как взаимно дополняющие друг друга понятия. Необходимо подчеркнуть, что добровольный радиационный риск, скорее, является «вынужденным», поскольку тяжело представить себе человека, который добровольно будет подвергать себя и своих близких опасности. В условиях этого «вынужденного» вида риска находятся жители, населяющие территорию в пределах угольных шахт и зон, с повышенным содержанием радиоактивных элементов. Жители принимают такой риск «добровольно», например, употребляя воду с повышенной концентрацией ^{222}Rn , вдыхая воздух, содержащий ^{222}Rn , и т. п.

Говоря о характере возможных видов ущерба, нами выделено: экономический (материальный), экологический и социальный виды рисков, имеющих отношение к радиационной опасности. Экологический ущерб связан с загрязнением окружающей природной среды (подземных вод, воздуха, грунтов и т. д.) естественными радионуклидами – ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{232}Th и др. Социальный ущерб определяется нанесением вреда здоровью населения, проживающему в этой местности, за счет влияния источников естественной радиоактивности. Соответственно экономический риск – возможность материальных потерь вследствие случайного характера результатов принимаемых хозяйственных решений или совершаемых действий. В исследуемом случае экономический риск может быть комплексным, одной из составных частей которого может быть выплата предприятием денежных средств сотрудникам, вследствие потери здоровья от источников ионизирующего излучения на шахтах.

В работах [1, 2, 5] приводятся примеры расчетов радиационного риска. Линейная зависимость между эквивалентной дозой (E), полученной индивидуумом, и радиационным риском (r), под которым понимается вероятность индуцирования стохастических эффектов (возникновение фатального и нефатального рака и серьезных наследственных эффектов от радиационного облучения), определяется как

$$r = r_E \cdot E, \quad (1)$$

где коэффициент пропорциональности (r_E), определяющий наклон кривой доза–эффект, именуется коэффициентом риска. Он представляет собой вероятность возникновения стохастических эффектов, отнесенных к единице дозы. Связь между коллективной дозой (S) и риском, который в данном случае выражается ожидаемым числом эффектов (R) в группе, определяется соотношением

$$R = r_E \cdot S. \quad (2)$$

Коэффициент риска возникновения стохастических эффектов на единицу индивидуальной или коллективной дозы для населения принимается равным $r_E = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$.

Коэффициенты риска для фатального и нефатального рака и серьезных наследственных эффектов равны $5,0 \cdot 10^{-2}$, $1,0 \cdot 10^{-2}$ и $1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ соответственно. При облучении человека дозой 1 Зв вероятность проявления стохастических эффектов равна $7,3 \cdot 10^{-2}$. Или при облучении коллективной дозой $1000 \text{ чел.} \cdot \text{Зв}$ у 73 человек могут возникнуть стохастические эффекты (фатальный и не фатальный рак или серьезные наследственные эффекты).

Принятые в настоящее время коэффициенты риска нельзя считать окончательно установленными, так как они могут модифицироваться по мере появления новых и уточнения старых данных.

Полная годовая эффективная доза от естественных источников излучения для населения Украины составляет $4,5 \text{ мЗв}$, что существенно выше среднемирового значения – $2,4 \text{ мЗв}$. Около 80% этой величины обусловлено продуктами распада ^{222}Rn [5, 20]. Максимальная величина дозы от ^{222}Rn наблюдается для населения Донецкой, Луганской, Днепропетровской, Запорожской, Херсонской и Черкасской областей.

Наибольшая величина коллективной дозы – $7,5 \cdot 10^6 \text{ чел.} \cdot \text{Зв}$ – обусловлена превышением радиационного фона на территории Украины над величиной «нормального» радиационного фона. Это превышение практически полностью обусловлено высокой концентрацией ^{222}Rn в жилых помещениях.

В результате действия техногенных источников на протяжении 70 лет в Украине дополнительно может произойти $1,0 \cdot 10^4$ случаев фатального рака ($1,5 \cdot 10^4$ случаев стохастических эффектов). В то же время за счет повышения радиационного фона за тот же период может произойти $3,8 \cdot 10^5$ случаев фатального рака ($5,8 \cdot 10^5$ случаев стохастических эффектов), что почти в 40 раз больше.

ВЫВОДЫ

1. В статье проанализированы два подхода к оценке радиационного радонового риска. Результатом стало применение комплексного подхода в оценке рисков, с учетом геологических и радиационно-гигиенических показателей. Проведена характеристика видов радиационного радонового риска на примере ГПР Северо-Восточного Донбасса. Выявлена тесная взаимосвязь природной и техногенной составляющих в источниках проявления радиационной опасности на данной территории.

2. Проведены систематизация и описание видов радонового риска. Установлено, что описанным видам рисков подвержены все категории населения, что говорит о важности и значимости поднимаемой проблемы.

3. Отдельно дана характеристика геологическим предпосылкам в активизации радоновой опасности на исследуемой территории.

4. В работе приведен расчет радиационного риска на территории Украины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.В. Барабашев. *Методологія оцінювання екологічних ризиків*: Монографія. Одеса: «Астропринт», 2011, 368 с.
2. Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов, Г.А. Хміль. *Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління*. Київ: «Наукова думка», 2008, 544 с.
3. Sources, effects and risks of ionizing radiation. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*. New York, 1988, p. 3-123.
4. С.В. Барабашев, В.И. Витько, Г.Д. Коваленко. *Радиационный мониторинг в Украине: состояние, проблемы и пути их решения*: Монография. Одесса: «Астропринт», 2011, 80 с.
5. Г.Д. Коваленко, К.Г. Рудя. *Радиоэкология Украины*. Киев: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2001, 167 с.
6. В.И. Уткин. Радоновая проблема в экологии // *Соросовский образовательный журнал*. 2000, т. 6, №3, с. 73-80.
7. Э.М. Крысюк. *Радиационный фон помещений*. М.: «Энергоатомиздат», 1989, 120 с.
8. Л.А. Булдаков. *Радиоактивные вещества и человек*. М.: «Энергоатомиздат», 1990, 160 с.
9. Д.М. Гродзинский. *Радиобиология*: Підручник. Київ: «Либідь», 2001, 448 с.
10. М.П. Мащенко, Д.С. Мечов, В.О. Мурашко. *Радіаційна гігієна*. Харків: Інститут монокристалів, 1999, 389 с.
11. Е.Ф. Шнюков, В.М. Шестопалов, Е.А. Яковлев. *Экологическая геология Украины*: Справочное пособие. Киев: «Наукова думка», 1993, 407 с.
12. Л.М. Горев, В.И. Пелешенко, В.К. Хильчевский. *Радиоактивность природных вод*. Київ: «Вища школа», 1993, 174 с.
13. И.В. Удалов, А.В. Кононенко. Особенности процессов миграции естественных радионуклидов в подземных водах при ликвидации угольных шахт Северо-Восточного Донбасса // *Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Геологія. Географія»*. 2016, т. 24, №2, с. 121-129.
14. И.В. Удалов. Результаты эколого-радиометрических исследований при ликвидации шахт Северо-Восточного Донбасса // *Известия НАН Республики Казахстан. «Серия геологии и технических наук»*. Алматы НАН РК, 2015, №3 (411), с. 79-85.
15. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010, №400, 15 с.
16. А.С. Сердюкова, Ю.Т. Капитонов. *Изотопы радона и продукты его распада в природе*. М.: «Атомиздат», 1975, 295 с.
17. А.А. Моисеев, В.И. Иванов. *Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене*. М.: «Энергоатомиздат», 1990, 252 с.
18. В.И. Витько, И.Г. Гончаров, Г.Д. Коваленко, А.В. Мазилев, И.П. Светличная. *Радиационная обстановка на территории Харькова и области*: Препринт ХФТИ 92-19. Харьков: ННЦ ХФТИ, 1992, 26 с.
19. В.И. Витько, Л.И. Гончарова, В.В. Каргашев, Г.Д. Коваленко. Радиологическое состояние окружающей среды Харьковской области // *Украинский метрологический журнал*. 2003, №(4), с. 40-49.
20. Ю.В. Сивинцев. Естественный радиационный фон // *Атомная энергия*. 1988, т. 60 (1), с. 46-56.

Статья поступила в редакцию 19.09.2018 г.

ОСОБЛИВОСТІ РАДІАЦІЙНОГО РИЗИКУ НА ТЕРИТОРІЇ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ДОНБАСУ

І.В. Удалов, А.В. Кононенко, А.Й. Лур'є

Описано особливості радіаційної небезпеки на території Північно-Східного Донбасу. Систематизовані та охарактеризовані види радонового ризику на прикладі геолого-промислових районів Північно-Східного Донбасу. Виявлені природна і техногенна складові радіаційної небезпеки для території досліджень. Окремо надана характеристика геологічних передумов виникнення радіаційної небезпеки на прикладі підземних вод, що використовуються місцевим населенням для питних цілей. Наведено практичний розрахунок радіаційного ризику для території України.

RADIATION RISK PECULIARITIES ON THE TERRITORY OF NORTH-EASTERN DONBAS

I.V. Udalov, A.V. Kononenko, A.Y. Lurie

The article describes peculiar radiation hazards on the territory of North-Eastern Donbas. Types of radon risk are systematized and characterized by the example of geological and industrial areas of North-Eastern Donbas. Natural and man-made components of the radiation hazards for the research area are revealed. A separate characteristic is given to geological preconditions for the emergence of radiation hazards on the example of groundwaters used by local population for drinking purposes. Radiation risk has also been calculated.