

УДК 621.039.58:622.8

**В.С. Рогалис, А.А. Шилов, О.Н. Гурьянова**

## **РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ НЕ МИФ, А РЕАЛЬНОСТЬ**

*В статье сформулированы основные негативные последствия воздействия радиационных факторов на организм горняков, доказана необходимость контроля уровня радона, торона их ДПР и ДПТ в горных выработках. Приведены примеры расчета годовой дозовой нагрузки на конкретных предприятиях на организм рабочих шахт и их сравнение с нормативными уровнями воздействия.*

*Ключевые слова: радон, шахта угольная, обстановка радиационная.*

Семинар № 12

**Д**о недавнего времени продолжительность жизни горняков была невелика. Некоторых засыпало землей, а те, кого миновала такая ужасная смерть, очень скоро чувствовали себя хуже, слабели и умирали. Говорили, их убивал горный дух, разгневанный вторжением в его владения. Прошли сотни лет, но люди мало изменились, и сегодня далеко не всякий знает, что плохое самочувствие, появление болезней — вовсе не козни злоумышленников, а вполне объяснимый с научной точки зрения факт. Называется он радон и радиационное облучение.

Этот газ не имеет цвета, вкуса и даже запаха, при этом он обладает массой других, чрезвычайно опасных для организма человека качеств. Учеными установлено, что он способствует возникновению болезней легких, а так же раковых заболеваний, влияет на организм человека на генетическом уровне. «Место жительства» радона определить легко и одновременно трудно: он повсюду.

Радиационная безопасность в угольных шахтах связана с естественными радионуклидами, содержащимися в углях и вмещающих породах. Основной вклад в дозу облучения персонала вносят дочерние продукты радона и торона, а

также долгоживущие радионуклиды рядов урана и тория, присутствующие в шахтной атмосфере в виде аэрозолей.

Самое высокое выделение радона наблюдается в местностях, где горные породы содержат высокие концентрации урана. Миграции радона из почв благоприятствует хрупкая деформация горных пород, вертикальные зоны разломов, пористость пород. Считают, что наибольшую интенсивность миграции радона из пород можно ожидать в условиях, где может присутствовать комбинация следующих геологических факторов:

- породы, обогащенные ураном;
- интенсивная хрупкая деформация субвертикальных пород, не содержащих кварца, карбоната или глины;
- земляной покров, состоящий из гравия или песчаных элювиалей.

Радиационная обстановка в шахте зависит главным образом от интенсивности ее проветривания, содержания урана и тория в углях и вмещающих породах и, наконец, от скорости выделения радона и торона в рудничную атмосферу.

Большинство угольных шахт проветривается достаточно интенсивно (время воздухообмена менее 2500 с),

среднее содержание урана и тория в углях и породах редко превышает  $40 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ . Если в таких шахтах обеспечивается норматив по запыленности воздуха ( $10 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$ ), то средний уровень суммарного воздействия радионуклидов на легкие (УВЛ) находится в пределах  $0,5 \dots 0,7$  норматива для шахтеров неурановых рудников и радиационная обстановка является достаточно благоприятной.

Норматив годовой дозовой нагрузки этих категорий трудящихся составляет  $5 \text{ мЗв/год}$ .

По предварительным данным обследования таких шахт в угольной промышленности России примерно  $90 \%$ . В остальных  $10 \%$  шахт 1 или несколько перечислены выше факторов существенно отличаются от средних значений. В частности, время воздухообмена в отдельных шахтах превышает  $4000 \dots 5000 \text{ с}$ , среднее содержание урана и тория может достигать  $250 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  и более, а среднегодовая запыленность атмосферы на некоторых рабочих местах составляет  $20 \dots 30 \text{ м}^{-3}$ .

В результате среднее значение УВЛ может быть в  $2 \dots 3$  раза выше предельно допустимого и для нормализации радиационной обстановки необходимо осуществлять комплекс специальных защитных мероприятий. В пункте 2.4.6. «Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99» [2] записано: «Производственный контроль за радиационной безопасностью в организации, где происходит облучение работников природными источниками излучения (ИИИ) в дозе более  $1 \text{ мЗв}$  в год должно осуществляться специальной службой или лицами ответственными за радиационную безопасность. Такой радиационный контроль предусматривает проведение контроля и учета индивидуальных доз облучения работников, общее состояние радиационно-экологической обстановки на предприятии и периодичность их согласовывается с органами Госпотребнадзора.

214

Учитывая, что в угольной промышленности действует более шахт и разрезов, оценку радиационной обстановки следует проводить в 2 этапа.

На первом этапе проводят предварительную оценку, которая заключается в отборе образцов углей и вмещающих пород с последующим измерением содержания в них радия  $-226$ , тория  $-228$  и калия  $-40$ , а так же в излучении радиоактивной загрязненности исходящих воздушных струй. Запыленность рудничной атмосферы и параметры вентиляционной системы принимаются по данным текущего контроля.

На втором этапе проводят детальное обследование радиационной обстановки на тех шахтах, где по данным предварительной оценки среднее значение УВЛ на рабочих местах превышает норматив. В процессе детального обследования уточняют значения параметров, влияющих на формирование радиационной обстановки во всех горных выработках, разрабатывают комплекс защитных мер.

Горно-технологические условия в угольных шахтах, как правило, существенно отличаются от условий разработки рудных месторождений. Для угольных шахт характерны более узкий диапазон содержания радия-226 и тория-228 в углях и вмещающих породах, малое число горизонтов, находящихся на отработке, нередко небольшая глубина залегания угольных пластов, выделение метана.

С учетом этих отличий можно сделать следующие предположения об особенностях радоновыделения в угольных шахтах:

- выделение радона (торона) в единицу объема или с единицы поверхности горных выработок происходит более или менее равномерно по всей шахте;
- повышенная интенсивность радоновыделения может иметь место там, где выделяется значительное количество

метана, а также в горных выработках, прилегающих к отработанным участкам;

- в шахтах со всасывающим способом проветривания следует ожидать более высокие значения дебита радона, особенно при небольшой глубине отработки;

- интенсивность радоновыделения в конвейерные выемочные штреки, по видимому, будет более высокой по сравнению с вентиляционными (воздухоподающими) выемочными штреками за счет фильтрационного выноса радона из находящегося между ними угольного пласта.

Прогнозирование дебита радона и торона шахты и ее отдельных участков является наиболее сложной задачей при определении потребного количества воздуха по радиационному фактору. Большое число факторов, влияющих на процесс радоновыделения, и вариабельность горно-геологических условий не позволяют теоретически рассчитать дебит радона, поэтому для его оценки обычно используют метод аналогий и эмпирические зависимости, установленные в процессе радиационного обследования шахт, чаще всего это приведено к единичному содержанию радия -226 (тория -228) в углях и вмещающих породах.

В процессе детального обследования радиационной обстановки необходимо уточнить и фактическую эффективность использования средств индивидуальной защиты органов дыхания (респираторов). Для этого экспериментально определяют среднее значение коэффициента задержки аэрозолей  $K_3$  (отн. ед.).

Одним из компонентов радиационного фона на угольных шахтах и разрезах является гамма-излучение углей и вмещающих пород, обусловленное содержащимися в них радионуклидами естественных радиоактивных семейств урана и тория, а так же радиоактивного изотопа калия-40.

Возможные пределы и средние значения дозы внешнего гамма-облучения в угольных шахтах, составляют для выработок в пройденных угольных пластах, 0,01...1,3 мЗв/год (в среднем 0,06 мЗв/год), а для полевых выработок – 0,05...0,8 мЗв/год (в среднем 0,12 мЗв/год).

Значимость таких доз можно оценить, сравнивая их со средней дозой внешнего облучения, получаемый за рабочий год персоналом, работающим в помещениях на поверхности (0,23 мЗв), со средней дозой внешнего облучения населения за счет естественного фона 0,8 мЗв/год; с временным пределом дозы внешнего облучения населения в жилищах, рекомендованным Национальной комиссией по радиационной защите (5 мЗв/год сверх естественного фона); с пределом внешнего облучения ограниченной части населения (5 мЗв/год) и, наконец, с пределом дозы облучения населения за счет техногенных источников, рекомендованных МКРЗ (1 мЗв/год сверх естественного фона).

Сравнение показывает, что лишь в исключительных случаях (при совпадении максимумов содержаний всех ЕРН в углях и вмещающих породах) подземный персонал угольной шахты может получить дозу внешнего облучения, превышающую значение дозы от естественного радиационного фона на поверхности. Но и в этих случаях дополнительная (надфоновая) доза не превысит предела, рекомендованного МКРЗ для населения, и 20 % предела, установленного НРБ-99 [1] для отдельных лиц из населения.

Можно ожидать, что средняя доза внешнего облучения персонала за год работы в угольной шахте будет в 2...4 раза меньше, чем доза, получаемая за этот же период работающими на поверхности, и в 6...12 раз меньше годовой дозы за счет среднего значения естественного фона на поверхности.

Из вышеизложенного следует, что на угольных шахтах и разрезах внешнее гамма-излучение не является значимым радиационно-опасным фактором, а систематический контроль и учет дозы внешнего облучения подземного персонала необходимы только на тех шахтах, где среднее содержание ЕРН превышает по радио-226  $200 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ , а по торию-232  $150 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ .

Уровни воздействия РОФ (радиационно-опасных факторов) на персонал угольных шахт могут различаться, по меньшей мере, на два порядка величины в зависимости от содержания радионуклидов в углях и вмещающих породах, запыленности атмосферы, дебита радона и проветриваемого объема шахты, количества подаваемого в шахту воздуха.

Целью предварительного обследования является классификация шахт в зависимости от уровня суммарного воздействия РОФ. По этому признаку все угольные шахты и разрезы можно разделить на три категории:

1 категория — радиационно-безопасные шахты, где средний уровень суммарного воздействия РОФ на легкие не превышает 0,5 норматива для отдельных лиц для из населения, а максимальные годовые дозы облучения не превышают норматив.

2 категория – умеренно-опасные в радиационном отношении шахты, где средний уровень суммарного воздействия РОФ находится в диапазоне 0,5...1,0 норматива, а среднегодовые превышения норматива наблюдаются не более чем на 30 % рабочих мест.

3 категория – радиационно-опасные шахты, где средний уровень суммарного воздействия РОФ в течение всего года превышает норматив.

В шахтах 1 категории для обеспечения безопасности персонала достаточны эпизодические (1—2 раза в год) измерения ВСЭ ДПР и ДПТ в исходящей

струе шахты, а защитные меры сводятся к снижению запыленности рудничной атмосферы и более эффективному использованию респираторов.

В шахтах 2 категории необходим систематический радиационный контроль уровней РОФ на рабочих местах и использование дополнительно к противопылевым другим защитным мероприятиям на тех участках, где среднегодовой уровень суммарного воздействия РОФ превышает норматив. К числу таких мероприятий относится отперемычивание участков, потерявших производственное значение. Улучшение воздухораспределения в сети горных выработок и т. д.

В шахтах 3 категории должно быть проведено детальное обследование радиационной обстановки и по его результатам выданы рекомендации по снижению радиоактивной загрязненности шахтной атмосферы.

Задачами предварительного обследования являются:

- определение содержания естественных радионуклидов в углях и вмещающих породах;
- расчет содержания ДРН в атмосфере (с учетом данных о запыленности воздуха) по всем рабочим местам и транспортным выработкам;
- расчет мощности дозы гамма-излучения по всем рабочим местам с учетом содержания ЕРН в углях и вмещающих породах;
- определение содержания радона и ВСЭ ДПР и ДПТ во всех исходящих и входящих воздушных струях шахты;
- расчет ВСЭ ДПР и ДПТ на всех рабочих местах с учетом фактического распределения воздуха в рудничной вентиляционной сети;
- расчет уровней суммарного воздействия РОФ на всех рабочих местах (с учетом использования средств индивидуальной защиты органов дыхания);

- оценка радиационной обстановки на шахте и подготовка предложений по организации дозиметрического контроля и повышению эффективности использования средств защиты.

Углубленное изучение радиационной обстановки проводят с целью выбора оптимального комплекса дополнительных защитных мер, позволяющих полностью нормализовать радиационную обстановку с минимальными затратами.

Основными задачами детального обследования являются:

- измерение уровней РОФ на всех рабочих местах и в транспортных выработках и расчет доз облучения отдельных лиц с учетом маршрута их передвижения по горным выработкам;
- проведение газозвушной съемки шахты и определение источников радиоактивного загрязнения атмосферы;
- выбор рационального комплекса корректирующих защитных мероприятий, обеспечивающего соблюдения норм радиационной безопасности для всего подземного контингента работников.

Количественная оценка радиационного риска и обоснование допустимых пределов воздействия радионуклидов на организм шахтеров являются весьма сложной задачей, рассмотрение которой выходит за рамки настоящей «Методки...». Поэтому при оценке радиационной обстановки на угольных шахтах и разрезах следует ориентироваться на официальные документы.

В этих рекомендациях шахтеры угольных шахт и разрезов отнесены к ограниченной части населения (категория Б), для которой установлен предел дозы за календарный год, равный (5 мЗв) для легких.

Принимая годовое облучение шахтеров равным 1700 часов/год, а годовой объем воздуха равным 2500 м<sup>3</sup>/год, указанные выше пределы дозы в соответствии с НРБ -99 не будут превышены, если среднегодовые уров-

ни РОФ на рабочем месте не превысят следующих значений:

- мощность поглощенной в воздухе дозы гамма-излучения  $\text{P}\gamma\text{-410}$   $\text{мкР}\cdot\text{ч}^{-1}$ ;
- содержание в воздухе короткоживущих ДПР (в единицах эквивалентной равновесной концентрации радона —  $\text{ЭРК}_{\text{Rn}}$ )  $110 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ ;
- содержание в воздухе короткоживущих ДПТ (в единицах эквивалентной равновесной концентрации торона —  $\text{ЭРК}_{\text{Tn}}$ )  $8,9 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ ;
- содержание в воздухе ДРН ряда урана-радия (по суммарной альфа-активности)  $C \frac{U}{\text{ДРН}} — 37 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ ;
- содержание в воздухе ДРН ряда тория (по суммарной альфа-активности)  $C \frac{\text{Th}}{\text{ДРН}} C — 18 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ .

При определении доз облучения горнорабочих, исходя из действующих документов, его величина значительно варьирует, что связано с особенностями труда в угольных шахтах (высокая запыленность воздуха рабочей зоны, большие время работы и объем вдыхаемого воздуха за год). Установленная таким образом доза облучения не может служить основанием при оценке влияния радиационного фактора на данный контингент населения. Однако радиационное воздействие на горнорабочих, даже с учетом поправок при расчетах, обусловленное радиационным фактором рабочих мест угольного предприятия, может значительно превышать допустимое. Дозы облучения горняков различных шахт, очистных лав и проходческих забоев существенно различаются, поскольку определяются с учетом особенностей трудового процесса (способ добычи угля и ведения проходческих работ – комбайн, отбойный молоток, буровзрывные работы, состояние вентиляции и т. д.). Концентрация радона в воздухе жилых помещений типичного угледобывающего города колеблется от 25 до 925 Бк/м<sup>3</sup>.

Совместное действие на организм радона и ряда факторов окружающей среды (пыль, выхлопные газы автотранспорта, продукты сгорания табака и др.) усиливают неблагоприятные эффекты, обусловленные этими факторами. Установлено, что в сочетании с табачным дымом онкогенный эффект действия радона возрастает в 2-10 раз и, что особенно важно, сокращается скрытый период развития рака легких (у курящих шахтеров на 3-12 лет). По мнению специалистов, удвоение частоты рака легких по сравнению с малооблучаемым населением следует ожидать у людей, подвергавшихся в течение жизни воздействию радона при его концентрации в окружающей среде равной 300-500 Бк/м<sup>3</sup>.

Для наглядности рассчитаем дозовую нагрузку для шахтеров одной из шахт производственного объекта Тулауголь. В расчет приняты два основных радиационно-опасных фактора: мощность эксплуатационной дозы (гаммафон) и содержание в шахтной атмосфере радиоактивных газов радона и торона и дочерних продуктов их распада и содержание радиоактивных элементов в угольной пыли. Общая средняя дозовая нагрузка за время пребывания в шахте 1700 час/год со-

ставляла 1,83 мЗв, что не отличается от средних значений других угольных предприятий. Хотя есть шахты в АО «Гуковуголь» и ПО «Ростов уголь», в которых базовые нагрузки достигают от 4,5 до 13 мЗв /год, что является довольно опасной величиной.

Поэтому радиозоологическое обследование угольных шахт, должно стать одной из составляющих программы обеспечения безопасности шахтеров. Этого же требуют и «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ» [2], где в п 2.4.6. записано: «Производственный контроль за радиационной безопасностью в организации, где происходит облучение работников природными источниками излучения в дозе более 1 мЗв/год должно осуществляться специальной службой или лицом, ответственным за радиационную безопасность. Такой радиационный контроль предусматривает проведение контроля и учета индивидуальных доз облучения работников и периодичность согласования с органами Госпотребнадзора.

Вот, в основном, такие требования к контролю за радиационной безопасностью и радиационной обстановке на угольных шахтах.

Сокращения, использовавшиеся в статье:

ВСЭ — величина скрытой энергии; ДРН — дочерние радионуклиды; РОФ — радиационно-опасные факторы; ДПР — дочерние продукты радона; ДПТ — дочерние продукты торона.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нормы радиационной безопасности* (НРБ-99) ГН 2.6.1.054-99

2. *Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности* (ОСПОРБ-99) СП 2.6.1.799-99. **ГИАБ**

### Коротко об авторах

*Роголис В.С.* – ГПУ МосНПО «Радон»,

*Шилов А.А.* – кандидат технических наук, профессор, Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, [ud@msmu.ru](mailto:ud@msmu.ru)

*Гурьянова О.Н.* – начальник отдела НПК «ТехСервис»,