

УДК 613.648:614.876:546.296

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К УЧЕТУ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ РАДОНОМ РАБОЧИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ

© 2013 г. Г. В. Куренкова, Е. П. Лемешевская

Иркутский государственный медицинский университет, г. Иркутск

Концепция безопасности и обеспечения жизнедеятельности человека в процессе его профессиональной деятельности является одной из важнейших системообразующих концепций экологии человека. Сохранение здоровья работников, условия труда и характер трудового процесса которых существенно выходят за пределы оптимума, невозможно без системных исследований в области эколого-гигиенического и физиолого-гигиенического регламентирования специфических технологических и производственных процессов, охраны труда и комплексного гигиенического нормирования. Особенно важны подобные исследования в связи с эксплуатационной деятельностью железнодорожного транспорта в сложных геологических и климатических условиях Восточной Сибири, развитие которого создаст основу для дальнейшего освоения богатейшего природного потенциала региона.

Во многом решение проблем, связанных с улучшением условий труда и сокращением профессиональных заболеваний работников, зависит от реализации законодательства в области гигиены и охраны труда.

Удельный вес лиц, работающих во вредных и опасных условиях труда, за последние годы увеличился практически по всем основным видам экономической деятельности, этот показатель в 2010 году на железнодорожном транспорте составил 57,1 %. Восточно-Сибирская железная дорога (ВСЖД) по уровню профессиональной заболеваемости занимает третье место по сети железных дорог Российской Федерации (2,72 на 10 000 работающих) [13].

Проведенная авторами гигиеническая оценка условий труда рабочих, обслуживающих крупнейшие на ВСЖД Северо-Муйский (15 343 м) и Байкальский (6 725 м) тоннели, выявила неблагоприятную радиационную обстановку, формирующуюся вследствие выделения радона из горного массива и насыщенных радоном подземных вод. Большая протяженность тоннелей и отсутствие эффективной вентиляции приводит к тому, что на отдельных участках природный радиоактивный газ многократно превышает нормируемые величины [4, 8].

Многочисленными исследованиями показано, что радон образуется при распаде естественных радионуклидов (ЕРН), содержащихся в земных породах, и рассеивается в атмосфере. Радон (Rn) – радиоактивный газ без цвета и запаха, химически почти нейтрален, в 7,5 раза тяжелее воздуха. Известны три природных активных изотопа радона, принадлежащих к радиоактивным семействам урана, тория и актиния: радон ( $^{222}\text{Rn}$ ), торон ( $^{220}\text{Rn}$ ) и актинон ( $^{219}\text{Rn}$ ) с периодами полураспада соответственно около 3,8 суток, 55 с и 3,9 с. Наибольший интерес из них с точки зрения радиационной опасности представляет  $^{222}\text{Rn}$  (радон-222), имеющий больший период полураспада и способный перемещаться на значительные расстояния от места своего образования [7, 24, 25].

Предлагаемый концептуальный подход учитывает специфику формирования радоновой обстановки в железнодорожных тоннелях Восточной Сибири и является действенным инструментом в организации учета и контроля индивидуальных доз облучения рабочих от природных неконтролируемых источников ионизирующего излучения в подземных условиях.

**Ключевые слова:** радон, неконтролируемые источники ионизирующего излучения, доза облучения, железнодорожные тоннели

Гигиенические критерии оценки ионизирующего фактора имеют принципиальное отличие от оценки других факторов рабочей среды, обусловленное специфическими особенностями его воздействия на организм человека. Ионизирующее излучение при воздействии на организм может вызывать два вида неблагоприятных эффектов: детерминированные (предполагается существование порога, ниже которого эффект отсутствует, а выше тяжесть эффекта зависит от дозы) и стохастические беспороговые эффекты, вероятность возникновения которых пропорциональна дозе, а тяжесть их проявления не зависит от дозы. В то же время сложившаяся практика гигиенической оценки ионизирующего излучения, призванная обеспечивать радиационную безопасность, не учитывает фактическое время пребывания работника на рабочем месте. Для гигиенической оценки и классификации условий труда при работе с источниками ионизирующего излучения используются значения максимальной потенциальной эффективной и/или эквивалентной дозы, рассчитанной по данным систематического оперативного радиационного контроля на рабочих местах, характеризующие только потенциальную опасность работы в конкретных условиях [21].

Проблема принятия управленческих решений по недопущению превышения предела доз облучения персонала при невозможности изменить радиационную обстановку, становится особенно острой, если учесть два важнейших фактора, формирующих радиационную опасность при эксплуатации железнодорожных тоннелей, пролегающих по радоновой провинции Восточной Сибири.

К первому (естественному) фактору следует отнести независимость активности природных источников от деятельности человека. Так, доля радона, выносимого из трещин в горные выработки, зависит главным образом от скорости фильтрации воздуха и воды по трещинам, которая, в свою очередь, определяется проницаемостью массива и перепадом давления воздуха между горными выработками [2]. Ко второму (техногенному) фактору относится создаваемый при движении поездов по тоннелям «поршневой эффект», направляющий движение вентиляционной струи в тоннеле [9]. Указанные факторы детерминируют специфику формирования радиационной обстановки в железнодорожных тоннелях, заключающуюся в том, что объемная активность радона может колебаться в широком диапазоне, делая неприемлемым применение расчетного способа определения годовой ожидаемой дозы облучения работающего человека.

В нормативно-методических документах имеются указания на необходимость определения и контроля индивидуальных доз облучения персонала, работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения [15, 16]. На радоноопасных объектах принято считать [14], что доза облучения от изотопов радона связана с техногенными источниками, а в оценке облучения населения от природных источников основной акцент делается на содержании ЕРН в воздухе населенных пунктов, воде, пище [17].

Перечисленные проблемы обусловили актуальность настоящего исследования, целью которого явилось представление и обоснование концепции определения и учета доз облучения от природных источников в производственных условиях как основы гигиенического мониторинга условий труда в железнодорожных тоннелях Восточной Сибири. Для обоснования концепции были использованы данные литературы и результаты собственных исследований.

Проведенные исследования объемной активности (ОА) радона в динамике ряда лет в Северо-Муйском [4, 8, 9, 19] и Байкальском [8] железнодорожных тоннелях ВСЖД позволили установить превышения гигиенических нормативов природных источников ионизирующего излучения на рабочих местах. В связи с чем по нашим рекомендациям и в соответствии с законодательством [5, 11, 12, 16] распоряжениями Руководства ОАО «Российские железные дороги» (от 26.06.2006 № 1283р, от 11.01.2008 № 25р) рабочие, обслуживающие Северо-Муйский и Байкальский железнодорожные тоннели, были приравнены по условиям труда к персоналу группы А, работающему с техногенными источниками излучения и являющемуся объектом радиационного контроля. Организация, обслуживающая железнодорожные тоннели, по законодательству несет ответственность за радиационную безопасность и обязана обеспечить контроль и учет индивидуальных доз облучения персонала, регулярное информирование персонала об уровнях излучения на рабочих местах и величинах индивидуальных доз облучения, разработку мероприятий по снижению доз облучения персонала и др.

Согласно действующим санитарным правилам, для лиц персонала группы А эффективная доза облучения не должна превышать 20 мЗв в год в среднем за любые последующие 5 лет, но не более 50 мЗв в год [11]. Указанному дозовому пределу облучения соответствует среднегодовая допустимая объемная активность (ДООА) в единицах эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона — 1 200 Бк/м<sup>3</sup> и торона — 270 Бк/м<sup>3</sup>. Установленному пределу дозы для персонала группы А (20 мЗв/год) соответствуют следующие значения предела годового поступления (ПГП) и ДООА смеси дочерних продуктов изотопов радона (<sup>222</sup>Rn и <sup>220</sup>Rn) — <sup>218</sup>Po (RaA); <sup>214</sup>Pb (RaB); <sup>214</sup>Bi (RaC); <sup>212</sup>Pb (ThB); <sup>212</sup>Bi (ThC) в единицах эквивалентной равновесной активности (для ПГП) и эквивалентной равновесной объемной активности (для ДООА):

$$\text{ПГП для радона:} \\ 0,10\text{П}_{\text{RaA}} + 0,52\text{П}_{\text{RaB}} + 0,38\text{П}_{\text{RaC}} = 3,0 \text{ МБк} \quad (1)$$

$$\text{ПГП для торона:} \\ 0,91\text{П}_{\text{ThB}} + 0,09\text{П}_{\text{ThC}} = 0,68 \text{ МБк} \quad (2)$$

$$\text{ДООА для радона:} \\ 0,10\text{A}_{\text{RaA}} + 0,52\text{A}_{\text{RaB}} + 0,38\text{A}_{\text{RaC}} = 1 \text{ 200 Бк/м}^3 \quad (3)$$

$$\text{ДООА для торона:} \\ 0,91\text{A}_{\text{ThB}} + 0,09\text{A}_{\text{ThC}} = 270 \text{ Бк/м}^3 \quad (4),$$

где  $P$  и  $A$  — годовые поступления и среднегодовые объемные активности в зоне дыхания соответствующих дочерних продуктов изотопов радона.

На практике измерения ОА отдельных короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона и торона, а также последующие расчеты по формулам (1, 2) и (3, 4) обычно не выполняют в связи с отсутствием как доступных методик измерения, так и приборов контроля, а для характеристики радиационной обстановки используют значения ЭРОА радона и торона [18]:

$$\text{ЭРОА}_{Rn} = F \cdot \text{ОА} \quad (5),$$

где  $\text{ЭРОА}_{Rn}$  — ЭРОА радона;  $F$  — коэффициент, характеризующий сдвиг радиоактивного равновесия между радонам и его дочерними продуктами распада, принимается равным 0,5; ОА — объемная активность радона ( $\text{Бк}/\text{м}^3$ ).

Формула для расчета ЭРОА торона в нормативно-методических документах отсутствует, так как эта величина определяется только путем прямых измерений.

Среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона в воздухе рассчитывается по формуле [17]:

$$A_{\text{экв}} = A_{\text{экв}, Rn} + 4,6 \cdot A_{\text{экв}, Tn} \quad (6),$$

где  $A_{\text{экв}, Rn}$  и  $A_{\text{экв}, Tn}$  — среднегодовая ЭРОА радона и торона в воздухе соответственно.

В основном доза облучения населения от природных источников формируется за счет радона — до 90 % и лишь на 10 % за счет торона [6]. Торон в радиозоологическом плане менее опасен, но при комбинированном воздействии неблагоприятных факторов производственной среды могут создаваться повышенные концентрации, представляющие токсико-радиационную опасность ухудшения здоровья [3]. При изучении почвы и воздуха жилых и общественных помещений в Прибайкалье установлено соотношение активностей радона и торона 1 : 60 [20, 23], то есть вклад торона в облучение населения составляет не более 2 %. Сведений по содержанию торона и его вкладу в облучение при воздействии природных источников ионизирующего излучения на рабочих местах в доступной литературе нами не обнаружено.

Основной источник поступления радона в выработки тоннелей — радоносодержащие воды, поступающие через тектонические разломы, текущие по почве и стенам выработок [9]. Подземные источники имеют разную температуру воды. В исследованиях В. С. Молчанова [10] показано, что холодные воды являются более радиоактивными, чем термальные. Наличие холодных радоносодержащих вод обуславливает не только высокую ЭРОА радона, но и высокую относительную влажность воздуха рабочей зоны, достигающую, по нашим данным, 89–99 % на отдельных участках Байкальского и Северо-Муйского тоннелей [8].

В условиях повышенной влажности железнодорожных тоннелей делается невозможным применение аспирационной методики осаждения дисперсной фазы радиоактивных аэрозолей на фильтры, на

которой основан принцип действия наиболее часто используемых приборов для измерения ОА радона и ЭРОА радона и торона (РАА-10, РРА-01М-01 и др.) специалистами лабораторий производственного контроля.

Проводимые в Северо-Муйском тоннеле измерения радона аспирационными радиометрами [9, 19] не могли лечь в основу мониторинга радона на рабочих местах в железнодорожных тоннелях из-за необходимости частой смены фильтров в приборах и соответственно высокой трудоемкости измерений.

В результате проведенного нами анализа технических характеристик ряда радиометров наиболее оптимальным для измерения ОА радона в условиях повышенной влажности Северо-Муйского и Байкальского тоннелей был признан профессиональный прибор Радон-монитор Alpha GUARD PQ 2000 PRO (Германия) с соответствующим программным обеспечением, его действие основано не на аспирационной методике, а на альфа-спектрометрии. Он позволяет безотказно проводить непрерывный мониторинг объемной активности радона и дочерних продуктов его распада в воздухе производственных помещений с одновременным измерением температуры, относительной влажности и атмосферного давления в течение длительного времени (сутки, месяцы), выводить информацию на мобильный персональный компьютер. Измерение ОА радона при использовании камеры для прокачки воздуха позволяет оперативно пройти участки с большой протяженностью и высокими уровнями радона, сделав репрезентативные выборки. Указанные преимущества прибора особенно важны, так как, по нашим данным и данным Н. А. Мироненковой [9], в период прохождения подвижного железнодорожного состава, а также при разных режимах работы вентиляционной системы уровни радона резко меняются как в сторону снижения, так и в сторону увеличения в течение нескольких минут.

Объемная активность радона в воздухе рабочей зоны переменна и детерминирована многими факторами. Среди них особо следует выделить температуру воздуха, так как вариация метеорологических параметров атмосферы приводит к изменению конвективных условий в породах и грунте, определяющих перенос радона к земной поверхности. Не менее важными являются и режим проветривания тоннелей и штолен, зависящий от эффективности работы вентиляционной системы, от того, открыты или закрыты порталы тоннеля, и наличие «поршневого эффекта», а также мощность выхода подземных вод на поверхность. Территория расположения Северо-Муйского тоннеля отличается не только суровым климатом, но и сложной сейсмической обстановкой — частыми землетрясениями с силой до 9 баллов, что также влияет на содержание радона в выработках тоннеля [1, 22].

Поэтому для контроля радиационной обстановки нами предложено измерять ОА радона в определенных контрольных точках (пикетах), в которых нахо-

дятся все постоянные и временные рабочие места, маршруты передвижения персонала. Расположение контрольных точек, неизменное в течение всего периода проведения измерений, в дальнейшем может меняться по мере изменения объема и характера работ и маршрутов передвижения. Маршруты передвижения работников для учета времени воздействия радона необходимо устанавливать по техническим картам, которые заполняются перед каждой сменой в тоннеле, журналам нарядов, а также по специальным отчетам лиц, привлекаемых для работ из других организаций и не имеющих постоянных рабочих мест в тоннеле. Работающие по роду выполнения должностных обязанностей могут быть задействованы в выполнении работ как непосредственно в тоннеле, так и в рабочей штольне, где ОА радона различаются, что также необходимо учитывать.

Результаты замеров ОА радона и расчета ЭРОА радона следует регистрировать в журнале «Регистрация ОА и ЭРОА радона на рабочих местах» с расчетами среднемесячных значений. Там же должны отмечаться режимы работы вентиляции.

Как было отмечено ранее, контроль за радиационной обстановкой в обязательном порядке проводится в условиях использования техногенных источников ионизирующего излучения, необходимые учетные документы для таких условий существуют. Нами предложено использовать подобные документы в условиях облучения персонала от природных источников излучения. Так, основным документом по учету индивидуальных эффективных доз облучения будет являться «Карта учета индивидуальной эффективной дозы облучения работающего», в которой наряду с паспортной частью (Ф. И. О., пол, возраст, должность, стаж) должны отражаться сведения о виде и характере облучения, средствах защиты органов дыхания, дозы облучения за месяц, квартал, год в динамике за 5 лет.

Определение времени воздействия ионизирующего излучения на работника в соответствии с «Картой учета индивидуальной эффективной дозы...» должно проводиться согласно выданным нарядам на выполнение работ, результаты которых отражаются в «Журнале учета пребывания работающего на рабочем месте». Учитывая различия ОА радона на различных эксплуатационных участках, в журнале необходимо отражать время пребывания отдельно в транспортном тоннеле ( $T_{тр}$ ), транспортно-дренажной штольне ( $T_{тдш}$ ), время проезда к рабочему участку ( $T_{пр}$ ).

Определение периодичности выполнения замеров ОА радона в тоннеле и рабочей штольне следует проводить с учетом специфики формирования радиационной обстановки. По нашим данным, ЭРОА радона в транспортных тоннелях и транспортно-дренажных штольнях варьирует в широких диапазонах (табл. 1, 2). Поэтому наиболее объективным будет измерение ОА радона на рабочих местах не реже одного раза в неделю, что позволит своевременно определять индивидуальные дозы и необходимость перевода персонала на рабочие места с более низкими значениями ОА радона во избежание их переоблучения.

Эффективная доза облучения ( $H_{вн}$ ), по нашему представлению, должна рассчитываться с учетом среднего значения ЭРОА радона на рабочих местах и маршрутах передвижения ( $Бк/м^3$ ), а также времени пребывания в условиях радиационного воздействия. Нами предложено определять эффективную дозу за месяц по нижеприведенной формуле, так как техническое задание для каждого работника и соответственно время пребывания в условиях радонового воздействия могут меняться:

$$H_{вн} = (9,8 \cdot 10^{-6} \cdot T_{тр} \cdot ЭРОА_{ср.тр}) + (9,8 \cdot 10^{-6} \cdot T_{тдш} \cdot ЭРОА_{ср.тдш}) + (9,8 \cdot 10^{-6} \cdot T_{пр} \cdot ЭРОА_{ср.пр}) \quad (7),$$

где  $H_{вн}$  – эффективная доза внутреннего облучения

Таблица 1

Радиационно-гигиенический мониторинг содержания радона  $^{222}Rn$  в воздухе зоны дыхания работающих в Северо-Муйском тоннеле в 2008–2011 гг.

Место замера	Эквивалентная равновесная объемная активность радона, Бк/м <sup>3</sup> (min–max)							
	2008 г.		2009 г.		2010 г.		2011 г.	
	X	T	X	T	X	T	X	T
Транспортно-дренажная штольня	54–7450	435–13300	54–7450	435–13300	752–6320	400–5560	103–4920	1505–8450
Транспортный тоннель	305–1190	34–690	305–1190	34–680	95–796	246–5040	32–2660	249–1895

Примечание для табл. 1 и 2. X – холодный период года, T – теплый период года.

Таблица 2

Радиационно-гигиенический мониторинг содержания радона  $^{222}Rn$  в воздухе зоны дыхания работающих в Байкальском тоннеле в 2008–2011 гг.

Место замера	Эквивалентная равновесная объемная активность радона, Бк/м <sup>3</sup> (min–max)							
	2008 г.		2009 г.		2010 г.		2011 г.	
	X	T	X	T	X	T	X	T
Транспортно-дренажная штольня	360–2048	145–5120	82–930	140–6800	119–3604	213–5820	61–1342	195–3150
Транспортный тоннель	12–304	88–1642	50–500	16–5050	34–278	28–331	20–448	45–760

за месяц (мЗв/год);  $9,8 \cdot 10^{-6}$  – условный дозовый коэффициент для перехода от экспозиции к эффективной дозе для персонала группы А, мЗв;  $T_{тр}$  – время нахождения рабочего в транспортном тоннеле,  $T_{тдш}$  – время нахождения рабочего в транспортно-дренажной штольне, час;  $T_{тдп}$  – время проезда рабочего к месту производства работ, час;  $ЭРОА_{ср}$  – среднее значение ЭРОА радона на рабочих местах и маршрутах передвижения, Бк/м<sup>3</sup>.

Необходимая для оценки условий труда годовая эффективная доза облучения рабочего, обслуживающего железнодорожный тоннель, будет складываться из индивидуальных доз облучения, полученных за отработанные месяцы ( $H_{вн.1}$ ,  $H_{вн.2}$  и т. д.):

$$H_{вн.год} = H_{вн.1} + \dots + H_{вн.12} \quad (8)$$

Годовые дозы облучения персонала учитываются нарастающим итогом по месяцам. Такой детальный подход позволяет при приближении к дозовому порогу оперативно принимать меры по уменьшению дозовой нагрузки персонала путем перемещения работающих на менее радоноопасные участки. Лицам, у которых эффективная доза облучения достигает 20 мЗв, администрация обязана предоставить работу, не связанную с воздействием ионизирующего излучения до конца года [11, 16].

Принимая во внимание существенный объем необходимых работ по учету индивидуальных эффективных доз облучения работающих в подземных условиях в железнодорожных тоннелях и отнесение рабочих к персоналу группы А, полагаем целесообразным организовать специальную группу радиационного контроля (ГРК), на сотрудников которой необходимо возложить выполнение таких задач, как замеры ОА радона в контрольных точках; расчет ЭРОА радона в воздухе рабочей зоны на рабочих местах и маршрутах передвижения работников; ведение учетных документов; информирование администрации о лицах, получивших эффективную дозу облучения выше предела доз; оценка режимов работы вентиляционных систем; составление отчетов о состоянии радиационной обстановки на рабочих местах; разработка предложений по изменению режимов работы вентиляционных систем для снижения содержания радона в воздухе рабочей зоны; оценка эффективности проводимых мер противорадиационной защиты; разработка рекомендаций и мероприятий по улучшению радиационной обстановки совместно с другими службами и администрацией предприятия.

Схема контроля радиационной обстановки в железнодорожных тоннелях представлена на рисунке.

Персонал ГРК должен знать и владеть методами расчета индивидуальной эффективной дозы облучения, измерения ОА радона в воздухе рабочей зоны, ведения учетных документов. Необходимая численность ГРК зависит от количества контрольных точек, периодичности измерений и протяженности маршрутов обследования. Численность персонала ГРК, требующаяся для проведения измерений ОА радона в тоннелях,

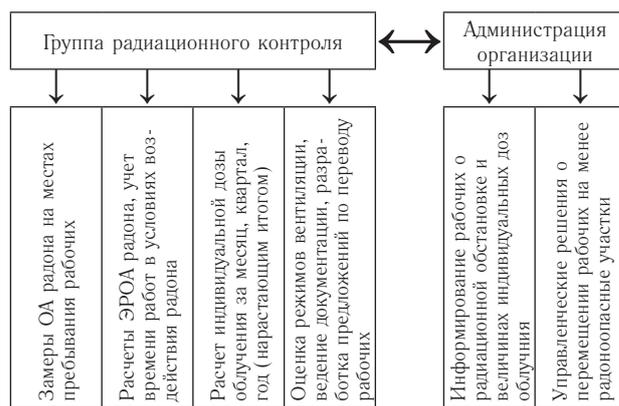


Схема контроля радиационной обстановки на рабочих местах в железнодорожных тоннелях Восточно-Сибирской железной дороги

можно рассчитать по формуле, разработанной для условий использования техногенных источников ионизирующего излучения [15]:

$$B = (1,6A [K (T_{изм} + T_{всп}) + M (T_{см} - T_{доп})]) / V (T_{см} - T_{доп}) \quad (9)$$

где: А – средняя по всем контрольным точкам периодичность измерений (количество измерений в квартале на точку); К – общее количество контрольных точек,  $T_{изм}$  – аппаратное время одного измерения, мин;  $T_{всп}$  – вспомогательное время, затрачиваемое на подготовку измерений, запись показаний прибора и т. п.; М – количество рабочих смен, необходимое для однократного обхода всех контрольных точек тоннелей;  $T_{см}$  – продолжительность рабочей смены сотрудника ГРК, мин;  $T_{доп}$  – дополнительное время, затрачиваемое ежедневно сотрудником ГРК на получение задания и аппаратуры, согласование маршрута и т. п., мин.; В – количество рабочих дней в квартале, затрачиваемое одним сотрудником ГРК на проведение контроля, за вычетом количества дней профилактического ремонта, поверки прибора; 1,6 – коэффициент, учитывающий резерв времени на оперативный контроль и измерения специального характера (изменение режима вентиляции, после прохождения подвижного состава и т. п.).

Расчеты, проведенные нами для обслуживающих Северо-Муйский и Байкальский тоннели работников по формуле (9), показали, что средняя годовая эффективная доза облучения подземных рабочих колеблется от 0,065 до 23,439 мЗв. При этом у тоннельных рабочих диапазон доз составил от 0,065 до 22,724 мЗв/год, у слесарей-электриков – от 2,392 до 23,439 мЗв/год, у машинистов компрессорных установок – от 18,298 до 20,717 мЗв/год, что превышает допустимый предел доз для лиц персонала группы А.

Таким образом, предложенный концептуальный подход к учету индивидуальных доз облучения работающих в условиях неконтролируемого воздействия природных источников ионизирующего излучения отражает специфику формирования радоноопасности железнодорожных тоннелей, существенные

пространственно-временные вариации объемной активности радона. Такой подход позволяет проводить мониторинг условий труда по радиационному фактору: рассчитывать необходимые для гигиенической оценки суммарные годовые эффективные дозы облучения от природных источников в производственных условиях, отслеживать в динамике года индивидуальные дозы облучения и своевременно принимать эффективные управленческие решения по снижению дозовой нагрузки на персонал. Мониторинг индивидуальных доз облучения от природных источников в производственных условиях позволит администрации оперативно принимать обоснованное решение о переводе работающих на менее радоноопасные места производства работ и тем самым снижать годовую индивидуальную дозу облучения до допустимых пределов.

### Список литературы

1. *Быкова Н. М., Зайнагабдинов Д. А.* К вопросу мониторинга и прогнозирования поведения транспортных тоннелей при обеспечении их безопасности // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации российских железных дорог : материалы Всерос. науч.-практ. конф., 10–11 октября 2007 г. Иркутск : ИрГУПС, 2007. Т. 1. С. 90–92.
2. *Воронов Е. Т., Галинов Ю. Н.* Аэродинамические методы борьбы с радоном на урановых рудниках России // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2005. № 1. С. 40–43.
3. *Гастева Г. Н., Титова И. Н., Западская Е. Э.* Анализ состояния здоровья лиц, подвергшихся воздействию и вредных химических агентов в производственных условиях // Медицина труда и промышленная экология. 2005. № 11. С. 14–19.
4. Гигиеническая оценка факторов производственной среды и трудового процесса рабочих, обслуживающих подземную часть Северо-Муйского тоннеля / Г. В. Куренкова, Н. И. Павлова, А. Н. Борейко, Е. П. Лемешевская // Сибирский медицинский журнал. 2009. № 2. С. 83–85.
5. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения : санитарные правила и нормативы. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 24 с.
6. Источники облучения для населения России [Электронный ресурс]: Человек. URL: <http://www.ibrae.ac.ru/russian/chernobyl-3d/man/1.htm> (дата обращения: 31.05.2012).
7. *Кузнецов Ю. В., Ярына В. П.* Величины для нормирования радиационной опасности радона и их измерение // АНРИ. 2001. № 2. С. 4–9.
8. *Куренкова Г. В.* К вопросу об условиях труда в тоннелях Байкало-Амурской магистрали Восточно-Сибирской железной дороги // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра. 2010. № 4(74). С. 40–42.
9. *Мироненкова Н. А.* Обоснование рациональных схем вентиляции при эксплуатации железнодорожных тоннелей в радоноопасных районах России с суровым климатом : автореф. дис. ... канд. тех. наук. СПб., 2008. 20 с.
10. *Молчанов В. С.* История и технологии строительства Северо-Муйского тоннеля // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2005. № 4(8). С. 100–110.
11. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) : санитарные правила и нормативы. 2-е изд. Стереотип. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
12. О радиационной безопасности населения : федер. закон Рос. Федерации от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ (в ред. Федеральных законов от 22.08.2004 № 122-ФЗ, от 23.07.2008 № 160-ФЗ, от 18.07.2011 № 242-ФЗ, от 19.07.2011 № 248-ФЗ); принят Гос. Думой 5 декабря 1995 г. [Электронный ресурс]: URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=117494;div=LAW;dst=100006> (дата обращения: 06.06.2012).
13. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2010 году : государственный доклад. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 431 с.
14. Определение индивидуальных эффективных доз облучения персонала от короткоживущих дочерних продуктов радона : методические указания МУ 2.6.1.12-01. Утв. Федеральным управлением «Медбиоэкстрем» при Минздраве России 26 марта 2001 г. и Министерством РФ по атомной энергии 28 апреля 2001 г. М., 2001.
15. Организация радиационного контроля на урановых рудниках и расчет доз облучения персонала : методические указания МУ 2.6.1.11-01 [Электронный ресурс]: URL: <http://www.opengost.ru/2878-mu-2.6.1.11-01-organizaciya-radiacionnogo-kontrolya-na-uranovyh-rudnikah-personala.html> (дата обращения: 06.06.2012).
16. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) : санитарные правила. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 83 с.
17. Оценка доз облучения групп населения, подвергающихся повышенному облучению за счет природных источников ионизирующего излучения: методические указания МУ 2.6.1.2397-08. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 20 с.
18. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности : методические указания МУ 2.6.1.2838-11. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 24 с.
19. Радон в Северо-Муйском железнодорожном тоннеле / Булнаев А. И., Тарасов С. А., Тарасов И. А., Миromanов И. А., Миromanов М. А. // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2007. Т. 31, № 5. С. 100–110.
20. *Рихванов Л. П.* Общие и региональные проблемы радиоэкологии. Томск : ТПУ, 2004. 383 с.
21. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда : Р 2.2.2006-05. М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2005. 142 с.
22. Северо-Муйский тоннель [Электронный ресурс]: URL: <http://www.irgups.ru/web-edu/~bbl/txt/spiski/tunnel.doc> (дата обращения: 06.06.2012).
23. *Черняго Б. П., Непомнящих А. И., Пампура В. Д.* Торон и радон в почвах Прибайкалья // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека : материалы Междунар. конф., Томск, 22–24 мая 1996 г. Томск : Изд-во ТПУ, 1996. С. 216–218.

24. Уткин В. И. Радоновая проблема в экологии // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6, № 3. С. 73–80.

25. Balek V., Beckman I. N. Theory of emanation thermal analysis XII. Modelling of radon diffusion release from disordered solids on heating // J. Thermal. Analys. 2005. Vol. 82, N 3. P. 755–759.

### References

1. Bykova N. M., Zainagabdinov D. A. *Problemy i perspektivy izyskaniy, proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii Rossiiskikh zheleznykh dorog. Materialy Vseros. nauch.-prakt. konf., 10-11 oktyabrya 2007 g. Irkutsk* [Problems and perspectives of survey, engineering, construction and exploitation of Russian railways. Proceedings of All-Rus. Sci. and Prac. Conf., 10-11 October 2007, Irkutsk]. 2007, vol. 1, pp. 90-92. [in Russian]

2. Voronov E. T., Galinov Yu. N. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System-oriented analysis. Simulation]. 2005, no. 1, pp. 40-43. [in Russian]

3. Gasteva G. N., Titova I. N., Zapadinskaya E. E. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational Medicine and Industrial Ecology]. 2005, no. 11, pp. 14-19. [in Russian]

4. Kurenkova G. V., Pavlova N. I., Boreiko A. N., Lemeshevskaya E. P. *Sibirskii meditsinskii zhurnal* [Siberian Medical Journal]. 2009, no. 2, pp. 83-85. [in Russian]

5. *Gigienicheskie trebovaniya po ogranicheniyu oblucheniya naseleniya za schet prirodnykh istochnikov ioniziruyushchego izlucheniya. Sanitarnye pravila i normativy* [Hygienic requirements to limitation of population radiation on account of natural ionizing radiation sources. Sanitary rules and norms]. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2011, 24 p. [in Russian]

6. *Istochniki oblucheniya dlya naseleniya Rossii. Chelovek* [Radiation sources for Russian population. Human being]. Available at: URL: <http://www.ibrae.ac.ru/russian/chernobyl-3d/man/1.htm> (accessed May 31, 2012). [in Russian]

7. Kuznetsov Yu. V., Yaryna V. P. *Al'yans nezavisimyykh regional'nykh izdatelei (ANRI)* [Alliance of Independent Regional Publishers (AIRP)]. 2001, no. 2, pp. 4-9. [in Russian]

8. Kurenkova G. V. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra* [Bulletin of East-Siberian Research Center]. 2010, no. 4(74), pp. 40-42. [in Russian]

9. Mironenkova N. A. *Obosnovanie ratsional'nykh skhem ventilyatsii pri ekspluatatsii zheleznodorozhnykh tonnelei v radonoopasnykh raionakh Rossii s surovym klimatom (avtor. kand. dis.)* [Background of rational schemes of ventilation in operation of railway tunnels in radon-dangerous areas of Russia with severe climate (Cand. Thesis)]. Saint-Petersburg, 2008, 20 p. [in Russian]

10. Molchanov V. S. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System-oriented analysis. Simulation] 2005, no. 4(8), pp. 100-110. [in Russian]

11. *Normy radiatsionnoi bezopasnosti (NRB-99/2009). Sanitarnye pravila i normativy* [Radiation safety norms (НРБ-99/2009). Sanitary rules and norms]. 2-d Publishing House Stereotip. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009, 100 p. [in Russian]

12. *O radiatsionnoi bezopasnosti naseleniya. Feder. zakon Ros. Federatsii ot 9 yanvarya 1996 g. № 3-FZ* [Population radiation safety. Fed. Law of Rus. Fed. of 9 January 1996 N 3-ФЗ] Available at: URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=117494;div=LAW;dst=100006> (accessed June 06, 2012). [in Russian]

13. *O sanitarno-epidemiologicheskoi obstanovke v Rossiiskoi Federatsii v 2010 godu. Gosudarstvennyi doklad* [Sanitary-epidemiological situation in Russian Federation in 2010. State Report]. Moscow, (Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor), 2011, 431 p. [in Russian]

14. *Opreделение individual'nykh effektivnykh doz oblucheniya personala ot korotkozhiyushchikh dochernikh produktov radona. Metodicheskie ukazaniya MU 2.6.1.12-01* [Determination of individual effective doses of radiation of personnel with radon short-living daughter products. Instructional guidelines 2.6.1.12-01]. Moscow, 2001. [in Russian]

15. *Organizatsiya radiatsionnogo kontrolya na uranovykh rudnikakh i raschet doz oblucheniya personala. Metodicheskie ukazaniya MU 2.6.1.11-01* [Organization of radiation control at uranium mines and personnel radiation dose calculation. Instructional guidelines 2.6.1.11-01]. Available at: URL: <http://www.opengost.ru/2878-mu-2.6.1.11-01-organizatsiya-radiacionnogo-kontrolya-na-uranovykh-rudnikakh-personala.html> (accessed June 06, 2012). [in Russian]

16. *Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniya radiatsionnoi bezopasnosti (OSPORB-99/2010)* [Main sanitary rules for radiation safety assurance (ОСПОРБ-99/2010)]. Moscow, (Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor), 2010, 83 p. [in Russian]

17. *Otsenka doz oblucheniya grupp naseleniya, podvergayushchikhsya povyshennomu oblucheniyu za schet prirodnykh istochnikov ioniziruyushchego izlucheniya. Metodicheskie ukazaniya MU 2.6.1.2397-08* [Assessment of radiation doses of population groups exposed to extra radiation from natural sources of ionizing radiation. Instructional guidelines 2.6.1.2397-08]. Moscow, (Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor), 2009, 20 p. [in Russian]

18. *Radiatsionnyi kontrol' i sanitarno-epidemiologicheskaya otsenka zhilykh, obshchestvennykh i proizvodstvennykh zdaniy i sooruzheniy posle okonchaniya ikh stroitel'stva, kapital'nogo remonta, rekonstruktsii po pokazatelyam radiatsionnoi bezopasnosti. Metodicheskie ukazaniya MU 2.6.1.2838-11* [Radiation control and sanitary-epidemiological assessment of living, public and production buildings after their construction, full repairs, reconstruction according to indices of radiation safety. Instructional guidelines 2.6.1.2838-11]. Moscow, (Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor), 2011, 24 p. [in Russian]

19. Bulnaev A. I., Tarasov S. A., Tarasov I. A., Miromanov I. A., Miromanov M. A. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Bulletin of Siberian Branch of Section of Earth Sciences of Russian Academy of Natural Sciences. Geology, exploration of orefields]. 2007, vol. 31, no. 5, pp. 100-110. [in Russian]

20. Rikhvanov L. P. *Obshchie i regional'nye problemy*

*radioekologii* [General and regional problems of radioecology]. Tomsk, 2004, 383 p. [in Russian]

21. *Rukovodstvo po gigienicheskoj otsenke faktorov rabochej sredy i trudovogo protsessa. Kriterii i klassifikatsiya uslovii truda : R 2.2.2006-05* [Guide for hygienic assessment of working environment and labor process factors. Criteria and classification of working conditions. P 2.2.2006-05]. Moscow, Federal Center of Gossanepidnadzor MoH Russia, 2005, 142 p. [in Russian]

22. *Severo-Muiskii tunnel'* [North-Muisky Tunnel]. Available at: URL: <http://www.irgups.ru/web-edu/~bbl/txt/spiski/tunnel.doc> (accessed June 06, 2012). [in Russian]

23. Chernyago B. P., Nepomnyashchikh A. I., Pampura V. D. *Radioaktivnost' i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka. Materialy Mezhdunar. konf., Tomsk, 22-24 maya 1996 g.* [Radioactivity and radioactive elements in human environment. Proceedings of Intern. Conf., Tomsk, 22-24 May 1996]. Tomsk, 1996, pp. 216-218. [in Russian]

24. Utkin V. I. *Sorosovskij obrazovatelnyj zhurnal* [Soros Educational Journal]. 2000, vol. 6, no. 3, pp. 73-80. [in Russian]

25. Balek V., Beckman I. N. Theory of emanation thermal analysis XII. Modeling of radon diffusion release from disordered solids on heating. *J. Thermal. Analys.* 2005, vol. 82, no. 3, pp. 755-759.

#### CONCEPTUAL APPROACH TO DETERMINATION OF INDIVIDUAL RADON RADIATION DOSES FOR RAILWAY TUNNEL WORKERS

G. V. Kurenkova, E. P. Lemeshevskaya

*Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russia*

The proposed conceptual approach takes into account the specific character of the formation of the radon situation in the East Siberian railway tunnels and is an effective tool in monitoring of individual doses of ionizing radiation of workers by uncontrolled natural sources in underground conditions.

**Key words:** radon, uncontrolled sources of ionizing radiation, exposure dose, the East Siberian railway tunnel

#### Контактная информация:

*Куренкова Галина Владимировна* — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры гигиены труда и гигиены питания ГБОУ ВПО «Иркутский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Адрес: 664003, г. Иркутск, ул. Красного Восстания, д. 1

Тел./факс (3952) 24-12-94

E-mail: gigtrud@rambler.ru