

На правах рукописи



ПИНЧУК Ксения Александровна

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГ
РАДОНА В СЕВЕРОМУЙСКОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ
ТОННЕЛЕ НА ТРАССЕ БАЙКАЛО-АМУРСКОЙ
МАГИСТРАЛИ**

Специальность 25.00.36 – геоэкология

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет»

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Булнаев Андрей Иосифович

Официальные оппоненты:

Руш Елена Анатольевна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и экология», ФГБОУ ВПО ИрГУПС

Бычинский Валерий Алексеевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского», г. Москва

Защита состоится 29 ноября 2012 года в 14:00 в конференц-зале на заседании диссертационного совета Д 003.059.01 при ФГБУН Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1А. Тел. 8(3952) 426-600, факс 8(3952) 427-050; e-mail: korol@igc.irk.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.

Автореферат разослан «16» октября 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета *Т. Королева* – Королева Галина Петровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Северомуйский железнодорожный тоннель (СМТ) на трассе БАМ построен на рубеже XX и XXI веков (1977 – 2003 гг.) в одном из самых геодинамически активных районов нашей планеты – на северо-восточном фланге Байкальской рифтовой зоны [Быкова Н.М., 2007; Стёпин А.Г. и др., 2003]. Тоннель проходит через Северомуйский хребет на глубине до 1000 м и связывает Ангараканское и Муяканское ущелья. Трасса его считается одной из сложнейших в истории мирового тоннелестроения, так как пролегает в породах разной степени крепости, рассеченных многочисленными зонами разломов мощностью от 2 до 50 м с водопритоками на забой от 10 до 1000 м³/час, с напором воды до 4 МПа и колебаниями температуры воды от + 3 до + 50°С [Данилова М.А., 2009; Диденков Ю.Н. и др., 2003].

Опасность радона для человека заключается в том, что, являясь газом, он попадает в организм человека при дыхании и может вызвать пагубные для здоровья последствия, прежде всего – рак легких [Глушинский М.В. и др., 1996; Крисюк Э.М., 1996; Field RW, 2000]. При этом не так опасен сам радон, как дочерние продукты его распада (ДПР): ²¹⁸Po, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi. Так как радон всегда присутствует в любом горном массиве и уменьшение его концентрации постоянно компенсируется новой генерацией газа, то в тоннеле радон опасен в особенности.

В настоящее время по Северомуйскому тоннелю проходят 14-16 пассажирских и грузовых поездов в сутки. Безопасность движения поездов через тоннель, а также безопасность персонала, обслуживающего СМТ, обеспечивает, помимо всего прочего, система радиационного контроля. Однако ранее проведенные исследования показали, что она выдает недостаточно надежные данные о концентрации радона в атмосфере тоннеля [Булнаев А.И., 2006].

В связи с тем, что в обслуживании Северомуйского тоннеля задействовано большое количество работников, необходимость изучения и оценки его радоноопасности имеет не только медицинское, но и социальное значение.

Целью работы является детальное исследование и анализ распределения радона в Северомуйском железнодорожном тоннеле в летний и зимний периоды года и разработка геоинформационного средства, реализующего необходимые для геоэкологического контроля механизмы сбора, хранения, сопоставления, анализа и представления данных.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Сбор и систематизация данных по радону в СМТ;
2. Изучение радиационной обстановки в тоннеле;
3. Изучение и анализ распределения радона в воздухе транспортного тоннеля и транспортно-дренажной штольни в разные периоды года;
4. Изучение влияния режимов системы вентиляции на распределение радона в тоннеле;
5. Изучение природы эманации;
6. Разработка геоинформационного средства «СМТ_Радон»

Фактический материал и программное обеспечение. Для сравнительного анализа распределения радона в Северомуйском железнодорожном тоннеле в летний и зимний периоды использовалась информация, предоставленная автору в Восточно-Сибирском филиале государственного учреждения здравоохранения «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии по транспорту» и в Байкальском филиале «Сосновгеология» [Малевич Л.В. и др., 1999]. Для детального исследования и анализа содержания радона в транспортном тоннеле и транспортно-дренажной штольне использовались материалы обследований СМТ лабораторией радиационного контроля Иркутского государственного технического университета [Булнаев А.И., 2003; Булнаев А.И., 2006]. Режимы работы системы вентиляции

в СМТ были взяты из материалов отчета Центрального штаба военизированных горноспасательных частей угольной промышленности [Руденко Ю. Ф. и др., 2003]. Для изучения и анализа состава дренажных вод тоннеля использовались материалы гидрогеологических исследований, выполненных в тоннеле Центром геолого-экологических исследований (НП ООО «ЦГЭИ») [Диденков Ю.Н. и др., 2003], а также диссертационная работа Даниловой М.А.

Общее количество точек измерений радона в воздухе тоннеля ежегодно составляет 100-150 в зависимости от шага наблюдения. За весь исследуемый период (2005-2011 гг.) – более 800 точек наблюдений. Также в 2006 году была отобрана и проанализирована 31 водная проба.

При помощи программы MS Excel на начальном этапе исследования производилось построение графиков. Разработанная ГИС включает такие программные средства как MS Access и Quantum GIS. Для создания геологической карты [Лосицкий В.И. и др., 1981] и топоосновы района СМТ использовались карты масштабов 1:50000 и 1:100000 соответственно.

Научная новизна:

- установлены источники поступления радона в Северомуйский тоннель и определена природа эманации;
- установлено и доказано глубинное происхождение радона;
- изучено распределение радона в тоннеле и транспортно-дренажной штольне в летний и зимний периоды;
- выявлена неудовлетворительная работа летней и зимней схем системы вентиляции по удалению радона из дренажной штольни;
- впервые создано геоинформационное средство для сбора, хранения, сопоставления, анализа и представления данных, связанных с измерениями радона в СМТ.

Практическая значимость. Районирование тоннеля по степени опасности позволило выявить участки с аномальной концентрацией радона. Определение источников поступления радона в Северомуйский тоннель позволяет рекомендовать мероприятия по ликвидации зон аномальных концентраций радона за счет исключения его поступления в выработки с дренажными водами. Установление неудовлетворительной работы летней и зимней схем системы вентиляции по удалению радона из дренажной штольни служит основой для их изменения [Мироненкова Н.А., 2008]. Созданное геоинформационное средство «СМТ_Радон» позволяет ускорить процесс обработки и последующий анализ информации о радоне в СМТ.

Основные защищаемые положения:

1. Источником радона в аномальных зонах СМТ являются насыщенные этим газом подземные воды, которые выходят на поверхность по глубинным разломам и поступают в выработки тоннеля из разгрузочных скважин и трещин в стенах выработки. В результате дегазации изливающихся дренажных вод, радиоактивный газ выделяется в атмосферу выработки и насыщает ее.

2. Зоны аномальных концентраций радона в воздухе дренажной штольни летом располагаются у западного и восточного порталов тоннеля и приурочены к местам разгрузки в выработку трещинно-жильных термальных вод. Зимой обе аномальные зоны радона сдвигаются в центральную часть дренажной штольни за счет особенностей работы системы вентиляции.

3. Собранный база данных в совокупности с созданным геоинформационным средством «СМТ_Радон» реализуют необходимые для геоэкологического контроля механизмы сбора, хранения, сопоставления и анализа данных. Итоговые представления результатов наилучшим образом обеспечивают анализ распределения и поведения радона в

Северомуйском тоннеле, позволяют наглядно провести районирование тоннеля по степени опасности.

Личный вклад. На протяжении четырех лет (2008-2012 гг.) автор работала в лаборатории радиационного контроля (ЛРК) ИрГТУ. За этот период лично автором были выполнены следующие виды работ:

- сбор информации по радону в Северомуйском тоннеле из различных источников;
- изучение отчетов по работам ЛРК ИрГТУ за 2003 и 2006 гг. и их анализ;
- обследование транспортно-дренажной штольни на радон летом 2009 г.;
- создание средства хранения и представления данных.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических Всероссийских конференциях факультета геологии, геоинформатики и геоэкологии ИрГТУ (Иркутск, 2009, 2010), на XXIII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2009), на второй Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка твердых полезных ископаемых» (Москва, 2009), на Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы контроля качества природной и техногенной сред» (Тамбов, 2009), на второй Международной научно-прикладной конференции «Problems and prospects of survey, design, construction and exploiting of Northeast Asia transport systems» (Иркутск, 2010), на 3-й Международной научной конференции «Геоэкологические проблемы современности» (Владимир, 2010), на Международной конференции «Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей» (Екатеринбург, 2011).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 9 печатных работах, в том числе 1 статья в рецензируемом издании, 7 статей опубликованы в сборниках по материалам конференций, среди них 2 международных и 5 всероссийских.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка сокращений, изложенных на 133 стр., включая 40 рисунков, 7 таблиц, 6 приложений и список литературы из 93 наименований.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю – профессору, д.г.-м.н. А.И. Булнаеву за предоставленные материалы для написания диссертации, за рекомендации и советы на протяжении всей работы. Автор выражает благодарность заведующей кафедрой «Мосты и транспортные тоннели» ИрГУПС, доценту, к. т. н. Н.М. Быковой за предоставленную возможность участия в обследовании Северомуйского тоннеля летом 2009 г. Автор признательна за предоставленные данные по радону в СМТ заведующему отделением радиационной гигиены Восточно-Сибирского дорожного филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по железнодорожному транспорту» С.Н. Улыбину; за помощь при создании информационного средства младшему научному сотруднику ИГХ СО РАН А.В. Паршину.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. Характеристика территории и объекта исследования

Радон – самый тяжелый из благородных газов, которые раньше называли инертными. Он не имеет ни запаха, ни вкуса, прозрачен и бесцветен. Плотность радона при 0°C равна 9,81 кг/м³, т. е. почти в 8 раз больше плотности воздуха. Поэтому радон накапливается в подвалах, горных выработках, пещерах, тоннелях, глубоких ямах и т.п. Радон легко подвижен и атмосферными потоками переносится на большие расстояния, он также довольно хорошо растворим в воде и перемешивается с грунтовыми и поверхностными водами. Радон

всегда присутствует в любом горном массиве, и уменьшение его концентрации, например, за счет диффузии из массива в воздух постоянно компенсируется новой генерацией газа. Диффузия радона в горном массиве и его выделение с поверхности почвы определяются эффективным коэффициентом диффузии, который зависит от многих факторов. Наиболее важными из них являются пористость, проницаемость и трещиноватость. Эти свойства среды существенно зависят от напряженно-деформированного состояния массива. Очевидно, что при сжатии массива проницаемость его снижается, а при разгрузке увеличивается. Соответственно, изменяется эффективный коэффициент диффузии. Следовательно, динамические изменения концентрации радона в приповерхностном слое земной коры должны отражать динамические изменения напряженно-деформированного состояния горного массива в значительном объеме.

Все вышесказанное привело к необходимости ограничения природного облучения в производственных условиях. В соответствии с действующими санитарными нормами (НРБ-99/2009) эквивалентная равновесная объемная активность изотопов радона в воздухе помещения не должна превышать 310 Бк/м^3 (5 мЗв в год) для персонала категории Б и не выше 1240 Бк/м^3 (20 мЗв в год) для персонала категории А.

Комплекс сооружений Северомуйского тоннеля. СМТ представляет собой комплекс сооружений, куда входят основной транспортный тоннель (ТТ) длиной 15,3 км, транспортно-дренажная штольня (ТДШ), боковая дренажная штольня, дренажные штольни, столбы и окопостольные выработки (рис. 1).

Пикетаж тоннеля разбит на две части: с западного портала от ПК 65 до ПК 0 - западное плечо и от ПК 0 до ПК 89 восточного портала - восточное плечо. Тоннель имеет 4 шахтных ствола, которые эксплуатировались при строительстве, а в настоящее время используются для обеспечения системы вентиляции выработок.

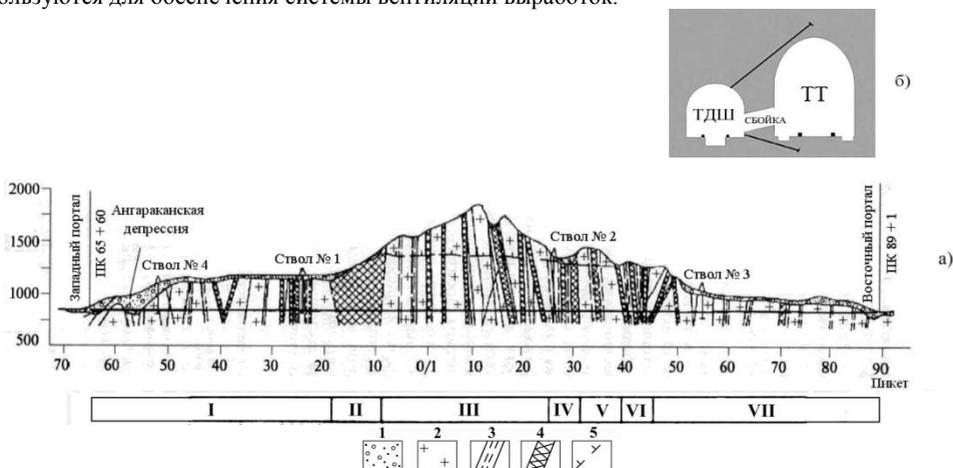


Рис. 1. Схематические разрезы Северомуйского тоннеля: а) – продольный геологический разрез: 1 – рыхлые четвертичные образования; 2- граниты кембрийского возраста; 3 – зона сильнотрещиноватых до раздробленности пород; 4 – дробленные породы с тектоническими глинами; 5 – граница многолетней мерзлоты; б) – поперечный разрез, показывающий взаимное расположение транспортного тоннеля, транспортно-дренажной штольни и соединяющих их выработок (сбоек)

Система вентиляции в тоннеле. Для теплого периода года, который в зоне расположения тоннеля характеризуется относительно коротким и жарким летом, по проекту

принята продольная система вентиляции, рассчитанная на движение поездов с электровозной тягой. Для проветривания тоннеля воздух забирается из атмосферы вентилятором, расположенным в стволе №2 и подается в тоннель. Вентиляционные потоки движутся вдоль тоннеля в обе стороны и выходят через порталы (рис. 2).

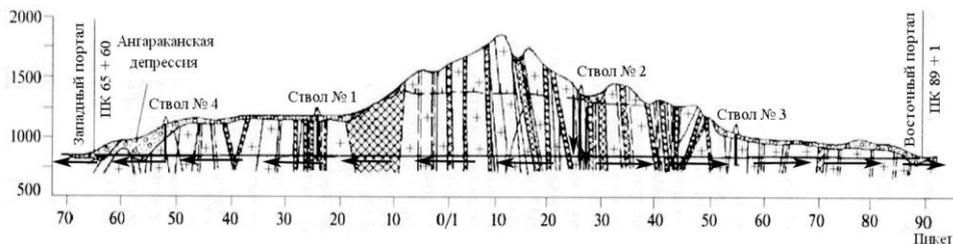


Рис. 2. Схема системы вентиляции в тоннеле для теплого периода года

Для более эффективного использования вентиляционного оборудования и поддержания теплового режима в тоннеле на порталах устроены специальные ворота, которые в холодный период постоянно закрыты и открываются автоматически при приближении поезда. В холодный период года принята продольная схема вентиляции с частичной рециркуляцией воздуха в припортальной зоне. Для рециркуляции воздух забирается из дренажной штольни, подогревается в электрокалориферах и подается центробежными вентиляторами в тоннель, где смешивается с воздухом, поступающим из атмосферы через портал под действием естественных факторов. Затем часть воздуха из тоннельного вентиляционного потока отводится через вентиляционную сбойку в дренажную штольню, откуда вновь подается к калориферу и вентилятору. Основной вентиляционный поток продолжает двигаться по тоннелю к противоположному portalу и выбрасывается через ствол № 2 в атмосферу (рис. 3).

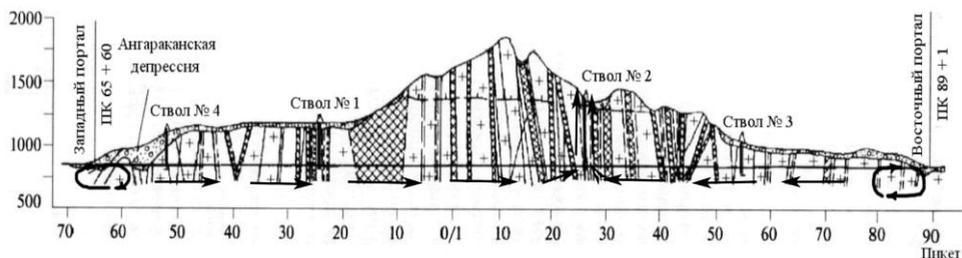


Рис. 3. Схема системы вентиляции в тоннеле для холодного периода года

Геологические и гидрогеологические условия. Участок строительства СМТ располагается во внутреннем поясе байкалид в пределах громадного Ангаро-Витимского батолита гранитоидов. В локальном плане участок расположен на северо-восточном фланге Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). В крест простирания СМТ выделены семь тектонических блоков (рис. 1, табл. 1). Блоки представлены гранитами разной степени трещиноватости – от сплошных монолитных до интенсивно разрушенных и дезинтегрированных до состояния песка и глинки.

В районе расположения СМТ выделяются три типа гидрогеологических структур, контрастно различающихся по условиям распределения и формирования подземных вод: рифтовые впадины – гидрогеологические бассейны; «плечи» рифта (горное обрамление) -

гидрогеологические массивы; рифтогенные разрывные нарушения - обводненные разломы. Разгрузка подземных вод происходит как в транспортно-дренажной штольне, так и в основном транспортном тоннеле. Суммарный водоприток в обе выработки составляет порядка 8500 м³/ч. Водоприток формируется за счет инфильтрации атмосферных осадков по зонам разломов, инфильтрации поверхностных вод из водотоков и разгрузки трещинно-жильных вод глубоких разломов.

Таблица 1

Основные тектонические зоны на трассе СМТ

№	Тектонический блок III порядка	Привязка к пикетажу тоннеля	Протяженность, м
1	Западный (с Ангараканской депрессией)	65+56 зап. – 18+00 зап.	4756
2	IV тектоническая зона	18+00 зап. – 8+10 зап.	990
3	Гольцовый	8+60 зап. – 26+45 вост.	3505
4	Троговая тектоническая зона	26+45 вост. – 31+47 вост.	502
5	Промежуточный тектонический блок	31+47 вост. – 39+70 вост.	823
6	III тектоническая зона	39+70 вост. – 45+80 вост.	610
7	Восточный	45+80 вост. – 89+03 вост.	4323

ГЛАВА 2. Радиационная обстановка в Северомуйском тоннеле

Еще при строительстве на объектах тоннеля была установлена негативная радоновая обстановка. Особенно неблагоприятная ситуация отмечена в воздухе подземных выработок восточного направления, где среднее значение эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в 5 раз превышало регламентированный уровень [Малевич и др., 1999].

В 2003 году перед принятием СМТ в эксплуатацию РАО «РЖД» провело комплексное обследование тоннеля. В обследовании принимал участие Иркутский государственный технический университет и в том числе Лаборатория радиационного контроля. Результаты обследования радиационной обстановки СМТ явились основанием для проведения мониторинга Северомуйского тоннеля на радон.

Радиационное обследование СМТ выполнялось в июле – августе 2003 года. На первом этапе была проведена детальная пешеходная гамма-съемка ТТ и ТДШ и были отобраны образцы горных пород и подземных вод для лабораторных исследований. На втором лабораторном этапе породы были проанализированы на содержание в них естественных радионуклидов (ЕРН), а водные пробы – на содержание растворенного радона.

Пешеходная гамма-съемка в транспортном тоннеле и дренажной штольне была проведена двумя радиометрами – СРП-68-01 и дозиметром ДБГ-04А. Шаг наблюдений равнялся 20 м, при этом для съемки использовался строительный пикетаж, разбитый на стенах тоннеля и разведочной штольни. В каждой точке наблюдения радиометрами СРП-68-01 измерялась мощность дозы гамма-излучения (I_γ) в микроРентгенах в час (мкР/ч) на противоположных стенах тоннеля и штольни. Одновременно по оси выработки на такой же высоте (1,2 – 1,4 м) измерялась мощность экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения в микроЗивертах в час (мкЗв/ч) дозиметром ДБГ-04. При этом предполагалось, что показания радиометров дадут характеристику интенсивности гамма-поля на стенах выработки, зависящую, прежде всего, от материала, из которого эти стены выполнены, а показания

дозиметра дадут усредненную интенсивность гамма-поля по всему объему горной выработки.

На рис. 4 представлены результаты гамма-съемки, полученные на одном и том же отрезке ТДШ в разные дни. Измерения от ПК 33.40 в западном направлении выполнены 29 июля, а от ПК 32.80 на восток – 31 июля. Таким образом, отрезок штольни от ПК 32.80 до ПК 33.40 (60 м) был обследован дважды с интервалом в 2 суток.

Анализ графиков показывает, что пары кривых I_γ ведут себя синхронно, повторяя друг друга в сериях измерений одного дня, но различаются для разных дней. Кривые МЭД отличаются друг от друга еще больше. При этом отмечается тот факт, что график МЭД от 29 июля идет ниже кривых I_γ , а график от 31 июля – выше, т.е. мощность экспозиционной дозы гамма-излучения в ТДШ за двое суток возросла в одном и том же месте в 3-4 раза.

Это обстоятельство позволило говорить о том, что гамма-излучатели находятся не только на стенах тоннеля, но также и в его атмосфере. В воздухе подземной горной выработки могли находиться только взвешенные гамма-излучающие ДПР радона – радиоизотопы Bi-214 и Pb-214. Поэтому скачок гамма-поля и в ТТ, и в ТДШ, произошедший между 29 и 31 июля 2003 г., авторы обследования логично объяснили залповым поступлением радона в горные выработки между этими датами.

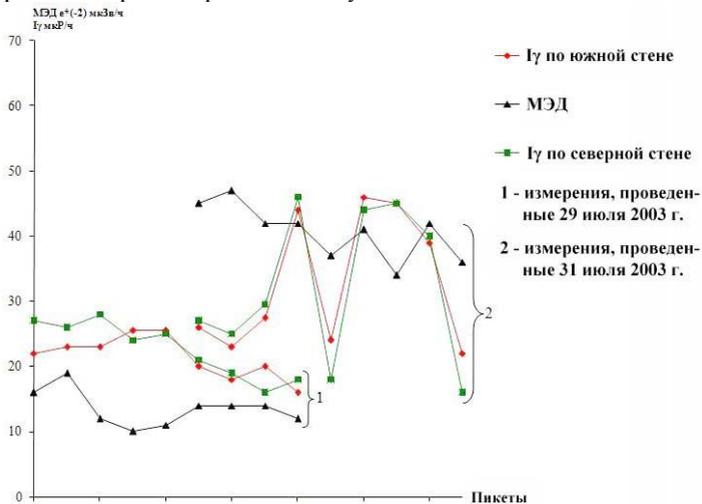


Рис. 4. Гамма-поле в транспортно-дренажной штольне на интервале ПК 31.80 – ПК 34.40 восточного крыла

Для анализа на содержание естественных радионуклидов в транспортно-дренажной штольне были отобраны восемь проб типичных гранитов, слагающих Северо-Муйский хребет. Анализ результатов показал, что удельная эффективная активность ЕРН во всех исследованных пробах оказалась меньше 370 Бк/кг. Это значит, что содержание радионуклидов в гранитах Северо-Муйского хребта не превышает кларковых значений для земной коры.

Для оценки «радоновой» составляющей радиационной обстановки в СМТ и ТДШ в этих выработках были отобраны 33 пробы подземных вод для анализа на содержание растворенного радона. Анализ данных показал, что содержание радона в подземных водах Северо-Муйского хребта варьирует от 2 до 200 Бк/л, что в общем невелико для подземных

вод кислых горных пород. Однако этого следовало ожидать после того, как было обнаружено, что северомуйские граниты характеризуются низкими содержаниями ЕРН.

Поскольку глубина дренажных лотков небольшая, то вода, протекая по ним по многу километров, освобождается от растворенного в ней радона, насыщая атмосферу выработок этим газом. Этим можно объяснить тот факт, что минимальным содержанием радона (2 Бк/л) характеризуется проба воды, отобранная из колодца на восточном портале, в который стекает вода из дренажного лотка у северной стены тоннеля.

Повышенное содержание радона в подземных водах, формирующихся в однотипных породах с близким содержанием ЕРН, можно объяснить только тем, что эти воды могли растворить радон в зонах с большим коэффициентом эманирования, т.е. более проницаемых для газа и воды участках пород - тектонических разломах. Поэтому можно сделать вывод о том, что повышенное содержание радона в воде свидетельствует о ее поступлении из тектонической зоны.

Полный анализ проведенного исследования радиационной обстановки в СМТ и ТДШ в 2003 году в целом показал:

1. Граниты, слагающие Северо-Муйский хребет, через который проходит тоннель, имеют кларковые содержания ЕРН и относятся к радиационно-безопасным материалам.
2. Интенсивность гамма-поля в СМТ варьирует от 5 до 45 мкР/ч (0,05-0,45 мкЗв/ч), что не превышает значений нормального гамма-фона для кислых горных пород.
3. Содержание растворенного радона в подземных водах, попадающих в СМТ и ТДШ, колеблется от первых единиц до первых сотен беккерелей на литр. Подземные воды, истекая из скважин и водопроявлений, протекают в дренажных лотках тоннеля и ТДШ, в результате дегазации выделяют радон в атмосферу горных выработок.
4. Кроме гамма-излучения, создаваемого материалом стен выработок, гамма-поле СМТ и ТДШ формируется также излучением дочерних продуктов распада радона. Вклад гамма-излучения ДПР радона в общую МЭД в тоннеле и ТДШ может достигать 50%.
5. Сравнивая кривые I_γ и МЭД, можно контролировать изменения объемной активности радона в горных выработках.
6. Наличие большого количества тектонических разломов и высокий геодинамический потенциал района тоннеля могут быстро изменять радиационную обстановку в выработке, в связи с чем необходим мониторинг радона в тоннеле.

ГЛАВА 3. Мониторинг радона в Северомуйском тоннеле

В настоящее время контроль содержания радона в воздухе ведется по тоннелю и штольне в режиме реального времени автоматизированной системой управления технологическими процессами в Северомуйском тоннеле (АСУ ТП СМТ). Однако, как показала практика, данные по радону, получаемые при помощи автоматизированной системы не достоверны [Булнаев А.И., 2006]. Поэтому ежегодно лицензированными лабораториями проводится дополнительный контроль опасного газа в тоннеле и штольне.

Обследования СМТ на радон. В течение восьми лет обследований СМТ на радон различными организациями использовались приборы для мгновенных измерений (PRA-01M-03, AlphaGuard, PAA-10). Выбор средств измерений для оценки мгновенных значений объемной активности (ОА) изотопов радона определяется необходимостью получения быстрой оценки объемной активности радона в воздухе тоннеля, поскольку содержание

радона в выработке может меняться очень быстро. Также этот выбор был обусловлен необходимостью выполнения большого количества наблюдений за минимальное время.

В августе 2005 г. Восточно-Сибирским филиалом государственного учреждения здравоохранения в содружестве с Иркутским государственным медицинским университетом были проведены работы с целью обоснования оздоровительных мероприятий для работников, осуществляющих эксплуатацию Северомуйского железнодорожного тоннеля. В результате обследования было установлено, что концентрация радиоактивного газа радона в воздухе транспортного тоннеля и транспортно-дренажной штольни достигают значений, значительно превышающих предусмотренные действующими нормами радиационной безопасности.

В 2006 году лабораторией радиационного контроля Иркутского государственного технического университета по договору с Иркутским государственным университетом путей сообщения проводилось контрольное обследование Северомуйского тоннеля с целью районирования ТТ и ТДШ по степени радоноопасности, выявления мест с наибольшей концентрацией радона, установления и локализации источников поступления радона в горные выработки. Обследование СМТ проводилось в два этапа – летний (август) и зимний (декабрь), при разных режимах работы системы вентиляции. Данные контрольного обследования 2006 года подтвердили результаты, полученные в 2005 году – радона в Северомуйском тоннеле аномально много. Было установлено, что концентрация радона в дренажной штольне намного больше, чем в транспортном тоннеле.

Зимой 2008, 2011 гг. и летом 2009 г. Восточно-Сибирским филиалом государственного учреждения здравоохранения проводились повторные обследования Северомуйского тоннеля на радон. Результаты обследований показали, что концентрация радона в тоннеле не уменьшилась и даже местами увеличилась.

Автор, начав работать в ЛРК ИрГТУ, собрала, подробно изучила материалы обследований 2005-2011 гг. и дала свою интерпретацию результатам работ.

Детальный анализ распределения радона в тоннеле. Обследование СМТ на радон, выполненное ЛРК ИрГТУ в 2006 году, было проведено в два этапа – летний и зимний.

Анализ результатов летних исследований распределения радона в ТДШ (рис. 5) показал, что:

- источником радона в аномальных зонах являются насыщенные этим газом подземные воды, поступающие в штольню из разгрузочных скважин и трещин в стенах выработки;
- аномальные зоны ЭРОА радона в ТДШ находятся у восточного (ПК36 – ПК84) и западного (ПК51 – ПК61) порталов тоннеля и связаны с зонами разгрузки подземных вод, насыщенных радоном;
- летняя схема работы системы вентиляции не справляется с удалением радона из ТДШ.

Обследование дренажной штольни в зимнее время (рис. 6) показало, что:

- концентрация радона в ТДШ в зимний период, хотя в целом несколько ниже, чем летом, но остается аномально высокой. Это объясняется меньшим поступлением дренажных вод в горные выработки зимой, другой схемой работы системы вентиляции и частотой прохождения поездов по тоннелю;
- в ТДШ аномальные зоны ЭРОА радона, наблюдавшиеся летом, сдвинуты в центральную часть выработки;
- зимняя схема работы системы вентиляции также не справляется с удалением радона из штольни.

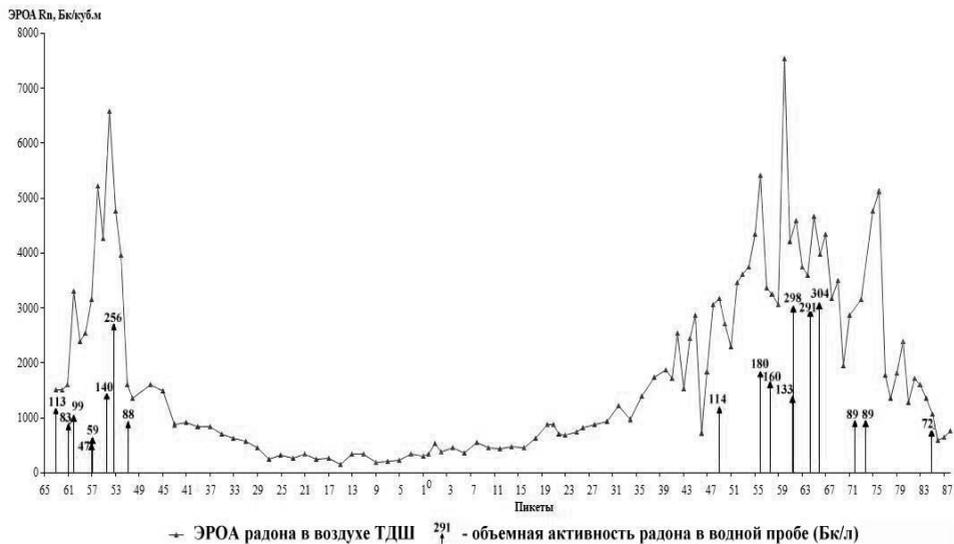


Рис 5. Район в воздухе и воде ТДШ в летний период 2006 г.

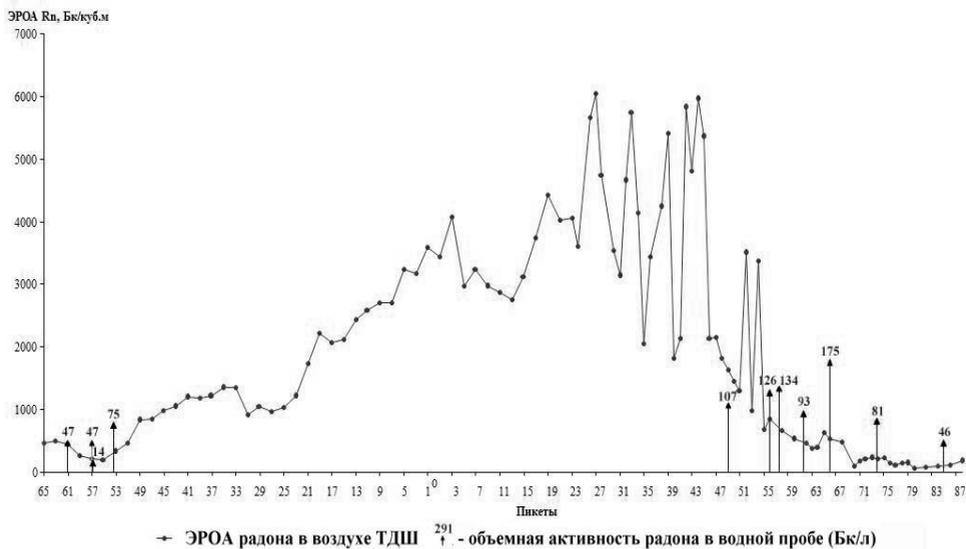


Рис 6. Район в воздухе и воде ТДШ в зимний период 2006 г.

Результаты серии обследований воздуха СМТ на район позволили провести сравнительный анализ. На рис. 7 представлены графики, характеризующие радоновую обстановку в ТДШ за все годы обследований в летний период. По оси абсцисс отложены расстояния между пикетами, по оси ординат – значения ЭРОА радона. Горизонтальная сплошной красной линией показан допустимый годовой уровень ЭРОА радона для персонала категории А, равный 1240 Бк/м^3 , а красной пунктирной линией – допустимый годовой уровень ЭРОА радона для персонала категории Б, равный 310 Бк/м^3 .

Кривые обследований 2005 и 2006 годов совпадают практически идеально, в деталях повторяя друг друга. В пределах аномальной зоны восточного плеча практически совпадают эпицентры этих кривых, а расхождение абсолютных значений ЭРОА объясняется тем, что обследование аномалии в 2005 г. выполнялось в течение одного дня с радиометром радона «AlphaGuard PQ-2000» более производительным, чем радиометр PPA-01M-03. Отмечено, что пики аномальных зон расположены в местах излияния в штольню подземных вод с максимальными концентрациями растворенного радона. Протяженность западной аномалии, наблюдавшейся в 2006 году, составляет около километра, а восточной – более 2 км.

В 2009 году содержание радона в ТДШ было максимальным, в среднем концентрация радона составляла около 3500 Бк/м^3 . Аномальные зоны в этом году так же располагались в районе западного и восточного порталов, но протяженность зон уже составляла у восточной аномалии более 4 км (ПК 46.00 – 88.00) и ее пик – более 12000 Бк/м^3 , у западной аномалии – около 4 км (ПК 20.00 – 59.00) и пик – более 5000 Бк/м^3 . Такое повышение концентрации радона, возможно, связано с большим поступлением подземных вод в выработку, чем прежде. Однако это может быть связано и с изменениями напряженного состояния горного массива, поскольку тоннель находится в зоне повышенной сейсмичности. Отметим, что западная аномалия 2009 года отличается от наблюдавшейся в 2006 году – просматривается смещение и увеличение аномальной зоны 2009 г., в сторону центральной части штольни. Можно предположить, что это связано с тем, что незадолго до проведения измерений по штольне прошел электровоз в сторону восточного портала и «размазал» аномалии.

На рис. 8 представлены графики, характеризующие радоновую обстановку в ТДШ за все годы обследований в зимний период.

«Зимние» обследования показали, что аномалии, наблюдавшиеся в летний период, смещены в центральную часть дренажной штольни. Протяженность аномальной зоны в 2006 году, составляла около 7,5 км (с ПК ЗП 21.00 до ПК ВП 53.00) и ее пик (ПК ВП 27.00) – более 6000 Бк/м^3 . В 2008 году протяженность аномальной зоны составляла примерно 9,5 км (с ПК ЗП 31.00 до ПК ВП 65.00) и ее пик – более 7000 Бк/м^3 .

В 2011 году протяженность аномальной зоны составляла более 9 км (с ПК ЗП 23.00 до ПК ВП 69.00) и пик – около 5000 Бк/м^3 . Как уже было сказано выше, на такое распределение радона в зимний период, скорее всего, влияет другая схема работы системы вентиляции.

Таким образом, результаты мониторинга радона в Северомуйском тоннеле показали, что аномальные зоны ЭРОА радона в ТДШ летом находятся у восточного и западного порталов тоннеля, зимой обе аномальные зоны радона сдвигаются вентиляцией в центральную часть дренажной штольни; схемы работы системы вентиляции Северомуйского тоннеля не справляются с удалением радона из дренажной штольни и в летний, и в зимний периоды.

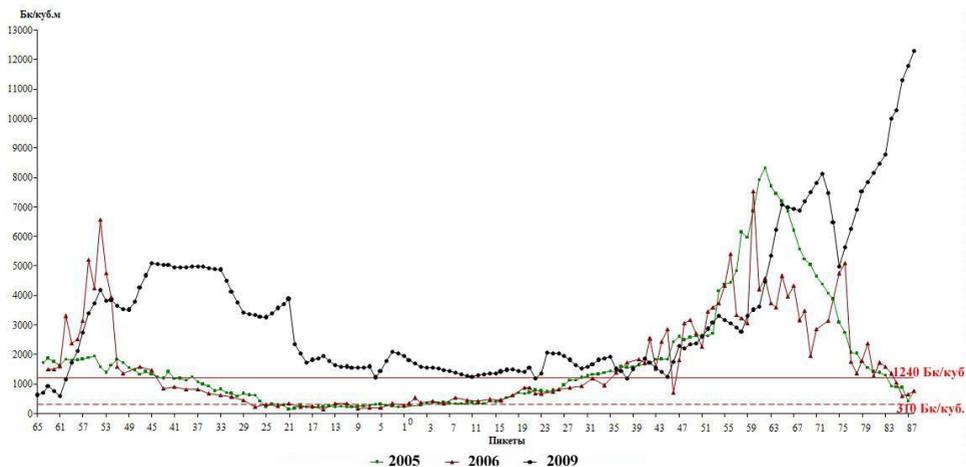


Рис 7. Эквивалентная равновесная объемная активность радона в воздухе ТДШ в летний период

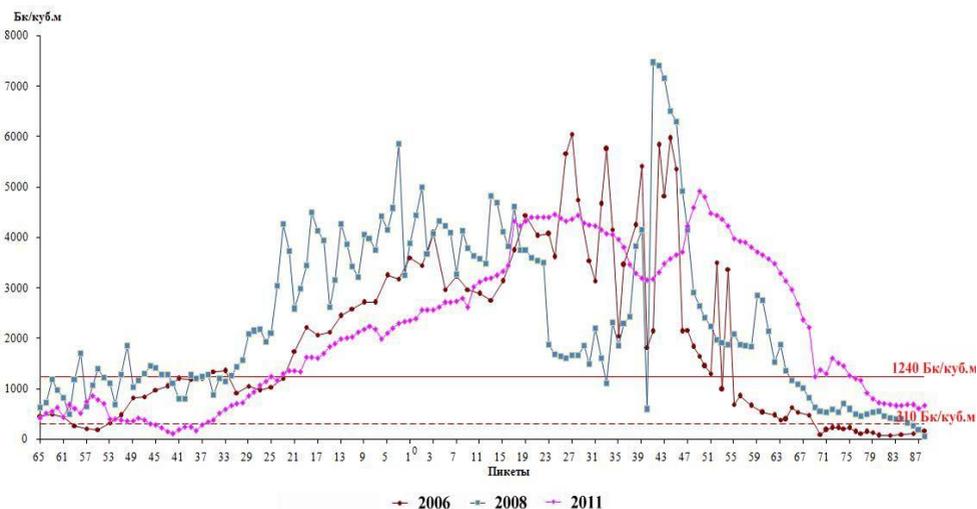


Рис 8. Эквивалентная равновесная объемная активность радона в воздухе ТДШ в зимний период

Природа радоновых аномалий. Для определения природы радоновых аномалий в тоннеле были проанализированы водные пробы, отобранные ЛРК ИрГТУ в 2006 году при обследовании ТДШ. Также использовались результаты гидрогеологических исследований в СМТ и литературные данные.

В 2006 году лабораторией радиационного контроля ИрГТУ были отобраны и проанализированы на радон дренажные воды СМТ. Отметим тот факт, что водные пробы отбирались только в припортальных зонах. Это связано с тем, что именно на этих участках, из-за сильной раздробленности пород, наблюдается максимум поступления дренажных вод.

А в центральной части тоннеля относительно сухо за счет преимущественно монолитных пород.

Анализ полученных результатов показал, что содержание растворенного радона в водных пробах, отобранных в ТДШ, варьируют от 14 Бк/л до 304 Бк/л.

Сопоставляя графики летних обследований воздуха ТДШ на радон с результатами анализа водных проб (на рис. 5 показаны стрелками), можно сделать вывод, что источником радона в аномальных зонах являются насыщенные этим газом подземные воды, поступающие в ТДШ из разгрузочных скважин и трещин в стенах выработки. На рис. 5 отчетливо видно, что чем больше в пробах растворенного радона, тем выше ЭРОА радона в атмосфере штольни. Радон попадает в атмосферу ТДШ с подземными водами в результате дегазации изливающихся из дренажных скважин вод. Эманации выделяются в атмосферу выработки и насыщают ее.

Ситуация с зимними обследованиями иная. Как видно на рис. 6, содержание растворенного радона в воде припортальных зон варьирует от 14 Бк/л до 175 Бк/л, что немало для подземных вод. При этом аномальная концентрация радона в воздухе сосредоточена в центральной части штольни, а в припортальных зонах она минимальна. Объяснением такого явления, как было сказано ранее, является другая схема работы системы вентиляции. Необходимо отметить, что в зимний период водные пробы отбирались на тех же пикетах, что и в летний период. Однако поскольку зимой большинство сливных камер не работало, водных проб было отобрано почти в два раза меньше, чем летом.

В 2003 году НП ООО «Центр геолого-экологических исследований» ИрГТУ провело гидрогеологические работы в СМТ. Исследователи выполнили газогидрогеохимическое опробование, которое включало в себя определение растворенного в воде гелия, определение фтора, определение основных микрокомпонентов и др. Также были проведены гидрометрические работы – определение структуры и динамики водопритоков в транспортно-дренажной штольне.

В результате газогидрогеохимического опробования было подтверждено, что подземные воды СМТ в целом являются ультрапресными, причем на флангах транспортного тоннеля и дренажной штольни минерализация вод выше, чем в центральных частях. Исследователи предположили, это связано с тем, что термальные трещинно-жильные воды, геохимически более активные, имеют значительные по глубине и протяженности пути движения, а значит и время, и интенсивность взаимодействия с вмещающими породами. Было установлено, что у порталов Северомуйского тоннеля разгружаются термы с повышенными концентрациями гелия, а в водах центральной части ТТ наблюдается фоновое содержание гелия. Известно, что концентрация гелия в воде позволяет судить о типе подземных вод и глубине их проникновения по тектоническим разломам. Трещинно-жильные воды глубоких разломов всегда обладают повышенным содержанием гелия относительно фона в поверхностных и грунтовых водах, находящихся в равновесном состоянии с атмосферой. Поэтому был сделан вывод, что разломы в районах порталов тоннеля имеют большую глубинность (более 20 км).

На рис. 9 представлены графики содержания гелия в воде штольни, температуры воды и усредненной концентрации радона в воздухе в летний период. Видно, что участки с более высокими значениями гелия, минерализации и температуры совпадают с зонами аномальных концентраций радона. Это позволяет говорить о том, что гелий и радон с водой поднимаются к поверхности по разломам большой глубины. Это дает основание считать, что радон имеет глубинное происхождение и выходит на поверхность вместе с термальными водами. Так же о глубинном происхождении радона свидетельствует низкое содержание в горной выработке короткоживущего торона.

По итогам гидрометрических работ установлено, что водопристок формируется за счет инфильтрации атмосферных осадков по зонам разломов, инфильтрации поверхностных вод

из водоотоков и разгрузки трещинно-жильных вод глубоких разломов. При этом трещинно-жильные воды обводненных разломов формируют основные водопритоки в тоннель и ТДШ.

Как видно на рис. 10, поведение графика водопритока в штольне схоже с поведением графика усредненной концентрации радона в воздухе. В припортальных зонах штольни наблюдаются наибольший водоприток и аномальные концентрации радона. А по направлению к центральной части штольни и водоприток, и радон резко уменьшаются. Этот факт еще раз доказывает, что радон в атмосфере тоннеля связан именно с подземными водами.

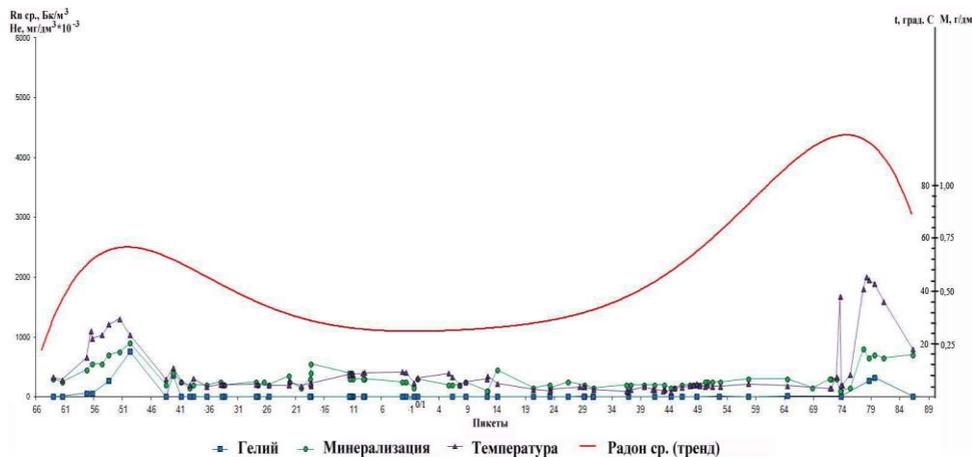


Рис 9. Взаимосвязь усредненной концентрации радона в воздухе штольни с распределением гелия и минерализации в воде, температурой воды

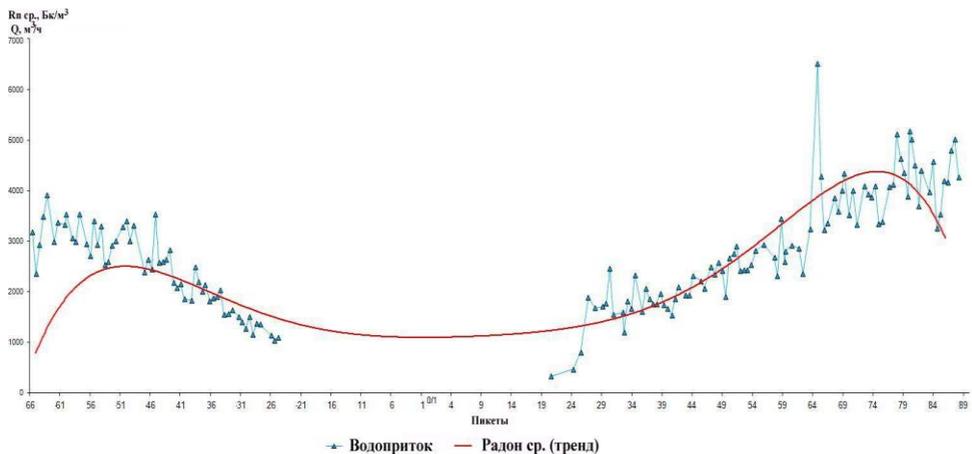


Рис 10. Взаимосвязь усредненной концентрации радона в воздухе штольни с водопритоком

В результате анализа сделаны следующие выводы:

- концентрация радона в тоннеле превышает допустимую норму радиационной безопасности;

- источником радона в аномальных зонах являются насыщенные этим газом подземные воды, поступающие в штольню из разгрузочных скважин и трещин в стенах выработки;
- содержание эманаций в транспортном тоннеле меньше, чем в транспортно-дренажной штольне, благодаря более эффективному их удалению системой вентиляции;
- радон имеет глубинное происхождение и выходит на поверхность вместе с термальными водами;
- зоны аномальных концентраций радона в воздухе дренажной штольни летом располагаются у западного и восточного порталов тоннеля и приурочены к местам разгрузки в выработку подземных вод; зимой обе аномальные зоны радона сдвигаются вентиляцией в центральную часть дренажной штольни;
- существующие схемы работы системы вентиляции Северомуйского тоннеля не справляются с удалением радона из дренажной штольни и в летний, и в зимний периоды.

ГЛАВА 4. Применение ГИС-технологий при изучении распределения радона в Северомуйском тоннеле

Для изучения проблемы радона в Северомуйском тоннеле необходимо было создать такое геоинформационное средство, которое могло решить следующие задачи:

- накопление, хранение и обработка информации о содержании радона в Северомуйском тоннеле;
- построение карт радоноопасности СМТ, отражающих состояние тоннеля каждый год;
- мониторинг радона в СМТ для оценки радоноопасности тоннеля и дальнейшего ее прогнозирования.

Для решения этих задач необходимо было создать и разработать структуру базы данных (БД); реализовать возможность автоматически отбирать участки по запрашиваемым значениям ЭРОА радона; разработать методику обработки полученных результатов с применением ГИС-технологий; а также разработать методику, позволяющую оперативно отслеживать изменения радона в СМТ по результатам проводимых исследований.

За все годы обследований СМТ накопилось большое количество информации, которая хранилась в базе данных на основе MS Excel. Однако эта БД не в полной мере удовлетворяет необходимым требованиям. Во-первых, сама структура БД не оптимальна, поскольку все данные находятся в отдельных файлах, что затрудняет процесс их обработки. Во-вторых, исходя из того, что в дальнейшем база данных будет основой для визуализации данных в ГИС-инструментарии, сама среда разработки MS Excel не удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к ГИС, поскольку данное программное средство представляет собой плоскую, двумерную базу данных, которая не имеет возможности сохранять целостность данных. В связи с этим возникла необходимость в выборе другой основы для БД. В качестве такой программы была выбрана MS Access.

В результате проектирования базы данных были созданы следующие запросы: по году обследования радона в атмосфере, по виду анализа (измерения радона в воздухе и воде). Данные запросы в дальнейшем будут использоваться для визуализации в ГИС-инструментарии. Для элементарной статистической обработки создан запрос, который дает возможность автоматически отбирать участки, где значения ЭРОА радона, например, выше 310 Бк/м^3 . Этот запрос не будет использоваться в ГИС, а предназначен для чтения и обработки информации.

Был создан пользовательский интерфейс для просмотра информации, а также для дальнейшего занесения новой информации.

Таким образом, было создано хранилище данных по радону в Северомуйском тоннеле и реализована возможность автоматически отбирать участки по запрашиваемым значениям ЭРОА радона. Созданная база данных является основой для визуализации данных по радону в ГИС-инструментарии.

В настоящее время на рынке имеется большое число программных пакетов ГИС. Многие из них очень сложны в использовании и/или, к сожалению, являются дорогостоящими. Для реализации геоинформационного средства «СМТ_Радон» был выбран ГИС-инструментарий QuantumGIS (QGIS), поскольку QGIS является ГИС с открытым исходным кодом, легок в использовании, имеет простой графический интерфейс, а также поддерживает распространенные растровые и векторные форматы данных, а также форматы баз данных.

В итоге поэтапной разработки было создано геоинформационное средство «СМТ_Радон», позволяющее накапливать, хранить и отображать данные по мониторингу радона в Северомуйском тоннеле, проводить наглядный анализ данных. Также созданное средство позволяет сопоставлять данные с геологической обстановкой района СМТ.

Работа с ГИС. Ежегодно лицензированными лабораториями проводятся обследования атмосферы Северомуйского тоннеля на радон. Полученные измерения заносятся в базу данных «СМТ_Радон», а именно: пикет, на котором проводилось измерение, ЭРОА радона, год и период измерения. После занесения данных в БД администратор проводит анализ по полученным данным, такой как: минимальное и максимальное значение ЭРОА радона в воздухе ТТ и ТДШ, выявление участков СМТ с концентрацией радона более 1240 Бк/м³, вычисление кратности превышения допустимой нормы радиационной безопасности и другое. Если проводились измерения в дренажных водах тоннеля, то эти данные также заносятся в базу (пикет измерения, ОА радона, год и период измерения). После интерпретации данных информация может быть распечатана и сделаны соответствующие выводы.

Далее создается запрос по соответствующему году измерения и экспортируется в отдельный файл формата *.dbf. После чего этот файл импортируется в ГИС «СМТ_Радон» для отображения полученных данных.

В геоинформационной системе импортированные данные, а именно значения ЭРОА радона, разделяются на уровни по степени опасности и каждому объекту определенного уровня присваивается свой цвет: 0-310 Бк/м³ (синий), 310-1240 Бк/м³ (желтый) и более 1240 Бк/м³ (красный). Объекты, соответствующие уровню, где ЭРОА радона более 1240 Бк/м³, делятся еще на несколько подуровней (от 1240 до 2000 Бк/м³, от 2000 до 2500 Бк/м³, более 2500 Бк/м³). Данный уровень может по усмотрению интерпретаторов делиться на большее количество подуровней и с различным диапазоном. И чем больше концентрация радона, тем темнее цвет объекта.

После проведения всех перечисленных действий можно проводить наглядный анализ обстановки в СМТ, включая необходимые слои ГИС. На рис. 11 отображена обстановка в транспортно-дренажной штольне СМТ летом 2009 года. По мнению автора, получившаяся картина радоноопасности в ТДШ довольно информативна. Как видно, районы порталов штольни окрашены в бордовый цвет, а центральная часть преимущественно в оранжевый, что свидетельствует о том, что в этом году ЭРОА радона практически по всей длине тоннеля не снижалась до регламентированной среднегодовой активности – 1240 Бк/м³. Более того, в районах порталов штольни она была не менее 2500 Бк/м³.

Кроме того, с помощью созданного средства при сопоставлении данных по радону с данными по землетрясениям, произошедшим в этом районе, было установлено, что на

изменениях концентрации радона в тоннеле сказываются изменения напряженного состояния горного массива.

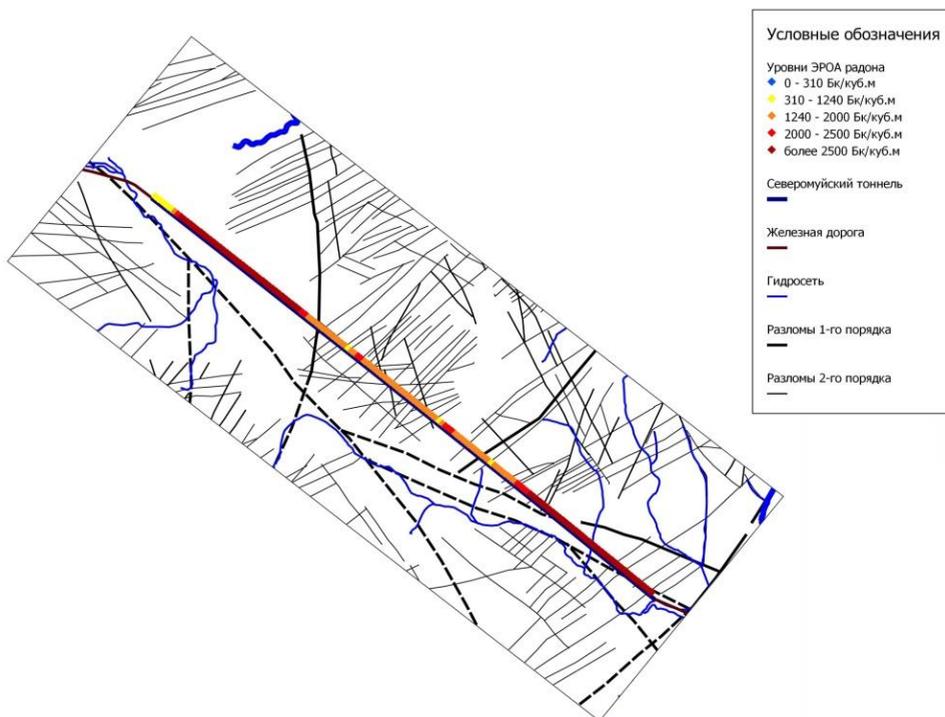


Рис. 11. Карта радоноопасности СМТ за летний период 2009 года с разломной тектоникой

В результате работы было создано геоинформационное средство «СМТ_Радон», реализующее следующие возможности:

- полноценное хранение данных по радону в Северомуйском тоннеле, реализованное в БД «СМТ_Радон»;
- обработка данных с помощью созданных в базе данных запросов;
- все данные, хранящиеся в БД «СМТ_Радон», используются ГИС в качестве основного источника данных для их визуализации;
- ГИС «СМТ_Радон» позволяет наглядно провести районирование тоннеля по степени опасности;
- предложенный автором процесс обработки данных по радону в СМТ ускоряет процесс анализа сложившейся ситуации в тоннеле.

Созданное геоинформационное средство представляет возможности сопоставления результатов производимых геоэкологических исследований с данными, полученными из других источников, что позволяет наилучшим образом интерпретировать наблюдаемую картину. Так, при сопоставлении данных по радону с данными по землетрясениям было установлено, что наблюдаемые изменения концентрации радона в Северомуйском тоннеле связаны с изменениями напряженными состояниями горного массива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении сформулированы основные результаты проведенных исследований:

1. Источником радона в аномальных зонах являются насыщенные этим газом подземные воды, поступающие в штольню из разгрузочных скважин и трещин в стенах выработки. Установлено, что граниты, слагающие Северо-Муйский хребет, через который проходит тоннель, имеют кларковые содержания ЕРН и относятся к радиационно-безопасным материалам. Содержание растворенного радона в подземных водах, попадающих в СМТ и ТДШ, колеблется от первых единиц до первых сотен беккерелей на литр. И чем больше в водных пробах растворенного радона, тем выше ЭРОА радона в атмосфере штольни в этой же точке наблюдения. Распределение радона по тоннелю коррелирует с распределением водопритока в штольне: участки с наибольшими водопритоками в выработке совпадают с зонами аномальных концентраций радона. Всё это свидетельствует о том, что радон попадает в ТДШ с подземными водами и в результате дегазации изливающихся из дренажных скважин водных струй, эманиции выделяются в атмосферу выработки и насыщают ее.

2. Радон в СМТ имеет глубинное происхождение и выходит на поверхность вместе с трещинно-жилными термальными водами. Об этом свидетельствует повышенная концентрация гелия в воде в зонах с аномальной концентрацией радона, повышенная минерализация на этих же участках, а также низкое содержание короткоживущего торона в воздухе тоннеля.

3. Зоны аномальных концентраций радона в воздухе дренажной штольни летом располагаются у западного и восточного порталов тоннеля; зимой обе аномальные зоны радона сдвигаются вентиляцией в центральную часть дренажной штольни. При изучении и последующем сопоставлении схем работы системы вентиляции и распределений концентраций радона в зимний и летний периоды установлено, что на изменение распределения радона в тоннеле оказывает влияние именно работа системы вентиляции. И поскольку радона и зимой, и летом аномально много, установлено, что существующие схемы работы системы вентиляции Северомуйского тоннеля не справляются с удалением радона из дренажной штольни.

4. Создано геоинформационное средство «СМТ_Радон», реализующее полноценное хранение данных по радону в Северомуйском тоннеле, осуществленное в БД «СМТ_Радон». В базе данных реализована обработка данных с помощью созданных запросов; все данные, хранящиеся в БД, используются ГИС в качестве основного источника данных для их визуализации. Геоинформационное средство «СМТ_Радон» позволяет наглядно провести районирование тоннеля по степени опасности и сделать соответствующие выводы. При помощи ГИС было установлено, что наблюдаемые флуктуации концентрации радона в Северомуйском тоннеле связаны с изменениями напряженных состояний горного массива.

Список публикаций автора по теме диссертации

Публикации в рецензируемых журналах, рекомендованных списком перечня ВАК РФ:

1. Пальцева К.А. (Пинчук К.А.) Оценка радоноопасности Северомуйского железнодорожного тоннеля / Вестник Иркутского государственного технического университета. Научный журнал. Выпуск №5 (45) 2010. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. С. 48-52

Материалы и тезисы конференций:

1. Пальцева К.А. (Пинчук К.А.), Булнаев А.И. Результаты обследования на радон Северомуйского тоннеля / Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований. Материалы Всероссийской научно-технической конференции "Геонауки", посвященной 110-летию со дня рождения профессора С.А. Вахромеева и 75-летию со дня рождения профессора Г.С. Вахромеева. Выпуск 9. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – С. 28-32
2. Пальцева К.А. (Пинчук К.А.), Булнаев А.И. Радон в Северомуйском железнодорожном тоннеле / Стрoение литосферы и геодинамика. Материалы XXIII Всероссийской молодежной конференции. - Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2009. – С. 246-247
3. Пальцева К.А. (Пинчук К.А.), Булнаев А.И. Обследование на радон Северомуйского железнодорожного тоннеля / Геология, поиски и комплексная оценка твердых полезных ископаемых. Тезисы докладов второй научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. - М.: ФГУП "ВИМС", 2009. – С. 93-94
4. Пальцева К.А. (Пинчук К.А.), Булнаев А.И. К проблеме радоноопасности Северомуйского железнодорожного тоннеля / Современные проблемы контроля качества природной и техногенной сред: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Федеральное агентство по образованию; ГОУВПО "Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина". Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Державина, 2009. – С. 100-105
5. Пальцева К.А. (Пинчук К.А.), Булнаев А.И., Тарасов И.А. Мониторинг радона в Северомуйском железнодорожном тоннеле / Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Выпуск 6. Труды VIII Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике. - Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2010. – С.107-118
6. Пальцева К.А. (Пинчук К.А.), Булнаев А.И. Систематизация информации о мониторинге в Северомуйском железнодорожном тоннеле / Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований. Материалы Всероссийской научно-технической конференции "Геонауки", посвященной 80-летию факультета геологии, геоинформатики и геоэкологии. Выпуск 10. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. – С. 35-41
7. Paltseva K.A., Bulnayev A.I. Systematization of information about radon monitoring in Severomuisky railway tunnel / Problems and prospects of survey, design, construction and exploiting of Northeast Asia transport systems. Students and post-graduate students' works presented at the Second International Scientific-Applied Conference. - Irkutsk: IrGUPS, 2010. – P. 180-185
8. Пальцева К.А. (Пинчук К.А.), Булнаев А.И. Оценка радоноопасности Северомуйского железнодорожного тоннеля / Геоэкологические проблемы современности. Доклады 3-й Международной конференции. Под ред. И.А. Карловича: Владимир, ВГГУ, 2010. – С. 235-239