

На правах рукописи

Сафонова Елена Владимировна

**КАОЛИНИТОВАЯ КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ И ЭМАНАЦИИ РАДОНА
КАК ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ДЛЯ
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА (НА ПРИМЕРЕ Г. ТОМСКА)**

специальность 25.00.36– геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

*диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук*

Работа выполнена в Томском государственном архитектурно-строительном университете на кафедре охраны труда и окружающей среды

Научный руководитель доктор геолого-минералогических наук,
профессор Мананков Анатолий Васильевич

Официальные оппоненты доктор геолого-минералогических наук,
профессор Букаты Михаил Болеславович

доктор геолого-минералогических наук,
доцент Язиков Егор Григорьевич

Ведущая организация Институт геологии и минералогии СО РАН

Защита состоится «30» января 2008 г. в 14³⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.19 при Томском государственном университете по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, главный корпус ТГУ, ауд. 119

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета

Автореферат разослан «25» декабря 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Н. И. Савина

Актуальность темы. С каждым годом г. Томск расширяет свои границы, застраивая менее благоприятные с точки зрения геоэкологии территории. Как показывает практика, имеются факты строительства без глубокого научного обоснования. Это обусловлено тем, что территория г. Томска характеризуется, хотя и высокой, но неравномерной изученностью геологической среды и степенью ее трансформации под влиянием природных и техногенных факторов.

Комплексные исследования геологического строения связаны с началом проведения геолого-съёмочных работ в 1944 г. листа 0-45 (В.А. Хахлов, 1945). Геологическая съёмка масштаба 1:200 000 листов 0-45-XXXI, 0-45-XXXII, включающих территорию г. Томска, проводилось в 40-х - начале 60-х годов, результаты изложены в отчетах А.С. Кириллова (1946), К.В. Иванова (1950, 1960), Н.В. Григорьева (1960). В 1961 г. Т.С. Ивановой составлен отчет о геологической съёмке листа 0-45-123-А масштаба 1:50 000, включающего северо-восточную часть города. Территория города входила в площадь проведения комплексных крупномасштабных съёмок (Ш.В. Толкачев, 1962, М.М. Тельцова, 1963, В.Г. Ширинкина, 1964), в составе которых проводились работы по изучению инженерно-геологических условий.

С позиций инженерной геологии и гидрогеологии изучаются последствия экзогенных геологических процессов. Особое внимание уделяется оползневым процессам и подтоплению территории. В 70-80 гг. был проведен большой объем работ по изучению динамики и генетической классификации оползневых процессов на территории Лагерного сада оползневой станцией (А.Л. Иванчура, А.В. Нестеров) и ТомскГИСИЗом. На базе этих исследований Институтом МосГипрокоммунпроект были разработаны противооползневые мероприятия для Лагерного сада. В 1991 г. МосЦТИСИЗом проведена оценка эффективности проекта инженерной защиты Лагерного сада. Проблемы подтопления территории, решаются с помощью результатов гидрогеологических исследований и картографирования территории. Остаются неизученными фундаментальные вопросы, связанные с минералогией, геохимией и радиогеоэкологией наиболее опасных с точки зрения градостроительства участков городской территории.

Первые сведения о повышенной концентрации радона на территории г. Томска опубликованы в 1904 г профессором ТГУ П.П. Орловым. Исследованные воды г. Томска, по его заключению, отличались повышенной радиоактивностью. Систематические исследования территорий и помещений в возводимых зданиях организовано ведутся областным центром ГСЭН с 1994 г.

Исследования коры выветривания пород палеозойского фундамента Западной Сибири начаты в 1958 г К.В. Ивановым, В.П. Казариновым и др. Примерно 30 лет назад ученые пришли к выводу, что коры выветривания играют большую роль в формировании литосферы и образовании месторождений полезных ископаемых. Этим проблемам посвящены работы выдающихся российских и зарубежных ученых (В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, И. И. Гинзбург, А. П. Виноградов, Д. В. Наливкин, Н. М. Страхов, А. В. Сидоренко, В. П. Казаринов, А. М. Цехомский, Ю.А. Калинин, Н.А. Росляков, J. Verhoogen, F. J. Turner, L. E. Weiss, W. S. Fyfe, A. D. Howard, I. Remson, Ch. Drake, J. Imbrie, J. Knauss, K. Turekian и

др.). Однако остаются дискуссионными многие вопросы, связанные с их минералого-геохимическими и металлогеническими особенностями. Исследования в этих направлениях позволяют оценивать экологические функции кор выветривания, включая динамику геохимических процессов, перспективу минеральных ресурсов регионов и, кроме того, могут быть использованы для уточнения условий появления эпох развития кор выветривания в геологической истории Земли. Планирование градостроительства без учета экологических функций геологической среды, в том числе и широко распространенных на территории города кор выветривания, может быть нецелесообразным и мало эффективным.

Работа выполнялась по Программе «Архитектура и строительство», тема «Конструктивная экология каменных зданий исторической застройки в условиях Западной Сибири», грант 01.2.00304348, 2003-2004 год и межотраслевой программе Минобразования РФ и Министерства РФ по атомной энергетике «Тектонические структуры палеозойского фундамента и их роль в миграции жидких радиоактивных отходов и размещение новых объектов СХК (г. Северск, Томской области)», грант № ГР 0120.0408858, 2004-2005 год.

Цель работы заключается в изучении условий формирования профиля коры выветривания, ее связи с эманациями радона на территории города для совершенствования геоэкологического и радиоэкологического сопровождения инженерных изысканий для градостроительства.

В соответствии с целью работы определены **задачи исследования:**

1. Изучить особенности вещественного состава различных минеральных зон гипергенного профиля коры выветривания и установить основные механизмы химического превращения исходных минералов в гидроалюмосиликаты и, в конечном счете, в каолинит.
2. С помощью методов физико-химического моделирования выявить роль подземных вод различных возрастных комплексов и определить скорости растворения и осаждения минеральных фаз при формировании коры.
3. Изучить роль геологической среды в формировании концентраций радона в подвальных помещениях и на первых этажах зданий современной застройки с учетом метеорологических параметров.
4. Провести картографирование территории с обоснованием ее мелкоблочного строения и выделением геоактивных зон между и внутри блоков, используя программы ArcView и Surfer.
5. Выявить роль исходного минерального сырья и силикатных строительных материалов в эманации радона и разработать метод расчета конвективно-диффузионной скорости переноса радона из почво-грунтов в подвальные помещения.
6. Обосновать методы уменьшения эманации радона из строительных материалов.

Фактический материал и методы исследования

В основу диссертационной работы положены материалы, полученные автором с 2002 по 2007 годы. За этот период изучена каолининовая кора выветривания в классическом разрезе на правом борту р. Томи, а также в дренажной горной выработке, возводимой в Лагерном. Минеральный и химический состав исходных пород и продуктов выветривания изучен петрографически, методами дифференциально-термического, рентгенофазового, количественного спектрального и ней-

тронно-активационного анализом. Для физико-химического моделирования использована программа «HydroGeo» (ТПУ-ТФ ИНГиГ СО РАН).

Измерения концентраций радона проведены с помощью трековых детекторов, Alpha GUARD PQ2000 и др. (более 5,5 тыс. точек замеров). Определение эффективной активности естественных радионуклидов в горных породах выполнены с использованием сцинтилляционного спектрометра и пакета программ PROGRESS и гамма-радиометром РУГ-91М «АДАНИ». Обработка результатов проведена с помощью программ Microsoft Excel, Statistica 6.0, ArcView и Surfer. Предложен метод расчета конвективно-диффузионной скорости поступления радона из почво-грунтов в атмосферу помещений с учетом внутренних свойств и степени трансформации горных пород. Проведены исследования по выбору состава ингредиентов для защиты строительных конструкций от внешних агрессивных факторов с участием естественных радионуклидов.

Научная новизна работы

1. Впервые изучен вещественный состав и механизмы формирования минеральных зон профиля каолинитовой коры выветривания, и выявлена роль подземных водоносных комплексов разного возраста в трансформации палеозойских пород фундамента.
2. Проведено физико-химическое моделирование процессов химических превращений для различных зон и установлены скорости растворения исходных и промежуточных минералов и скорости осаждения конечных каолинитов двух модификаций.
3. Впервые в каолинитовой коре установлено присутствие двух собственно редкоземельных минералов церия и лантана.
4. Предложен метод комплексного учета динамики поведения элементов в профиле коры выветривания и установлены геохимические закономерности минеральных зон профиля каолинитовой коры.
5. Впервые прослежена зависимость между концентрациями радона в подвальных помещениях и качественным составом геологической среды. Предложен метод расчета конвективно-диффузионной скорости поступления радона из горных пород. Составлена карта-схема мелкоблочного строения и геоактивных зон территории города.
6. Выявлена роль исходного минерального сырья и силикатных строительных материалов в эманации радона в помещениях на различных этажах, а также закономерности изменения концентрации радона в зависимости от метеорологических параметров. Разработан метод уменьшения эманации радона из строительных материалов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Профиль каолинитовой коры является конечным продуктом природной трансформации геосреды и оказывает существенное влияние на ее экологические функции. Он имеет четкое минералого-геохимическое зональное строение. Возраст коры мел-палеогеновый, с максимумом в палеогене-

новой системе. Состав коры испытывает изменения различной степени при взаимодействии с подземными водами разновозрастных комплексов.

2. Концентрация радона зависит от качественного минерального состава, структурно-текстурных особенностей горных пород, их общей пористости и эффективных размеров капилляров, от степени трансформации геологической среды, а также внешних метеорологических параметров.
3. Содержание радионуклидов в строительных материалах г. Томска определяется радиогеохимическими особенностями исходного сырья. Разработана строительная смесь на основе портландцемента и модифицирующих добавок для защиты кирпичных и железобетонных конструкций, позволяющая уменьшить концентрацию радона в помещении в несколько раз.

Достоверность выводов работы обеспечена представительностью фактического материала, комплексом использованных современных методов и программных продуктов, позволивших получить результаты, согласованные с теоретическими положениями физической химии и газогидродинамики, и нашедшие применение в геодинамике. В результате составлена новая геоэкологическая карта мелкоблочной структуры территории г. Томска.

Практическая значимость работы. Получены новые научные данные о механизмах и возрасте геоактивных зон на территории г. Томска, которые отражены на геоэкологической карте и используются при планировании градостроительства.

Результаты работы внедрены в Томском областном государственном учреждении «Областной комитет охраны окружающей среды и природопользования», в Комитете по охране окружающей среды администрации г. Томска и в департаменте архитектуры и строительства г. Томска. Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе кафедры «Охраны труда и окружающей среды» при ТГАСУ и в институте повышения квалификации при переподготовке инженеров – специалистов по инженерной защите окружающей среды и безопасности технологических процессов и производств.

Предложены состав защиты материалов от радоновыделения. Его эффективность подтверждена результатами опытно-производственных работ в НИИ СМ при ТГАСУ и имеет правовую защиту (патент Российской Федерации № 2307811).

Апробация работы. Материалы диссертации представлены и обсуждены на международных и региональных конференциях, в том числе: на международных симпозиумах студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2003, 2004); на Всероссийском совещании по подземным водам Востока России (Иркутск, 2003); на VIII Международной научно-практической конференции «Качество-стратегия XXI века» (Томск, 2003); на Шестом Сибирском совещании по климатологическому мониторингу (Томск, 2005); на юбилейной научной конференции, посвященной 120-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина

(Томск, 2007); на Межрегиональной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири» (Томск, 2007); на Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования в Казахстане и сопредельных территориях» (Павлодар, 2007).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе статья в журнале из Перечня ВАК, и 1 патент.

Структура и объем работы. Диссертация общим объемом 150 страниц состоит из введения, 5 глав, выводов и списка литературы. Работа содержит 38 рисунков, 13 таблиц и 3 приложения. Список литературы содержит 122 наименования.

Диссертационная работа выполнялась в Томском государственном архитектурно-строительном университете. Эксперименты проводились в НИИ СМ при ТГАСУ. Лабораторные и аналитические исследования – в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ, лаборатории минералогии и геохимии ТГУ, в Институте химии нефти ТФ СО РАН, в Центрах ГСЭН по Томской области и Красноярскому краю и ТФ ИНГиГ СО РАН.

Автор выражает особую благодарность и признательность научному руководителю, д.г.-м. н., профессору Мананкову Анатолию Васильевичу. Автор искренне признателен д. т. н., профессору М. И. Шиляеву; к. г.-м.н., глав. врачу ЦГСЭН Красноярского края В. В. Коваленко, д.т.н., профессору Р.А. Назирову, зам. начальника отдела санитарного надзора Л.Ф. Денисенко, к.т.н. С.А. Кургузу, начальнику оползневой станции ОАО «Томскгеомониторинг» А.Л. Иванчуре, главному геологу НПО «Геосфера», к. г.-м. н. Е.В. Черняеву за помощь в сборе материалов и проведение аналитических исследований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены цель и задачи, сформулированы научные положения.

Глава 1. Основные проблемы геологической среды территории г. Томска. Территория города Томска в геоэкологическом плане представляет собой сложный хозяйственно-природный комплекс, который уже много лет служит объектом теоретических и прикладных исследований. Наложение обычных и специфических факторов, обусловленных особенностями строения и трансформации экологических функций геологической среды под воздействием строительства и разнопрофильных предприятий, оказывает все большее воздействие на геосферные и биосферные элементы природной среды, в том числе и на человека. Необходимость научного обоснования градостроительной политики невозможно без детального изучения экологических функций геологической среды, с целью районирования территории и выявления зон с повышенной опасностью и риском.

Глава 2. Методика геоэкологических исследований. Приводится характеристика методик и методов исследования, отбора проб различных компонентов природной среды, а также экспериментальных исследований по выбору противорадоновых защитных составов для строительных материалов, аналитическое обеспечение исследований и методики физико-химического и математического моделирования и ГИС-технологий обработки информации.

Глава 3. Геологическая среда территории г. Томска. Геологическое строение окрестностей г. Томска изучалось многими исследователями с прошлого столетия. Территория г. Томска в геологическом отношении приурочена к области сопряжения структур Колывань-Томской складчатой зоны и южной окраинной части Западно-Сибирской низменности. Район этот лежит в области сложного тектонического строения, расшифровка которого бывает очень затруднена из-за недостаточной изученности и практически полной задернованности. Однако территория правобережных притоков р. Томи, как и ее правого берега, представляет собой многочисленные выходы коренных пород фундамента или развитых по ним кор выветривания, являющихся главным водоупором, по которому происходит сток подземных вод в русла рек, прорезающих палеозойские отложения, что является спецификой геологического строения территории. Значительную роль играют на территории города техногенные отложения в виде промышленных отходов, которые слагают Золотвал ГРЭС-2 в пойме р. Ушайки, техногенные почво-грунты, засыпанные озера (Университетское и др.), овраги (в районе завода Томкабель), склоны (район завода ТЭМЗ). Эти отложения перекрывают естественные выходы подземных вод, нарушают природные и рукотворные дренажные системы, провоцируют оползни. В формирование геологической среды вносят свой вклад четыре водоносных горизонтов (неоген-четвертичный, палеогеновый, верхнемеловой, палеозойский). На территории города имеют повсеместное распространение родники, образующие различные ландшафтно-родниковые зоны. Родники участвуют в формировании горизонтов верховодки, что негативно сказывается не только на зданиях жилой и административной застройки, но и, благодаря повышенным концентрациям радона (в местах засыпанных оврагов, озер, болот и т.д.), на здоровье людей. Особо негативное воздействие на здания, сооружения и здоровье людей оказывает та часть территории, где изменения геологической среды накладывается на геоактивные зоны. Исследование роли геоактивных зон показало четкую связь между зонами активных тектонических нарушений и трассируемыми ими подземными водными потоками, в том числе погребенными и захороненными руслами рек.

Глава 4. Кора выветривания и особенности ее экологической геохимии. В этой главе рассматриваются закономерности формирования минерального состава в профиле коры выветривания. По минеральному составу, а также геохимическим особенностям, физико-механическим свойствам, структурно-текстурным особенностям и цвету нами выделено 4 зоны и 6 подзон одновременно развивающихся в гипергенной метасоматической колонке (табл. 1).

Таблица 1 - Профиль коры выветривания и реакции образования минералов

Зоны	Подзоны	Реакции замещения
Каолини- товая	Каолинит – 4	$2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 3\text{H}_2\text{O} = 3\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 2\text{K}^+$ (4)
	Каолинит – 3	
Сидерит- каолини- товая	Каолинит – 2	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{кр}) + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + \text{Ca}^{2+}$ (3)
	Каолинит – 1	$2\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{кр}) + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4\text{SiO}_2 + 2\text{K}^+$ (2)
Сапроли- товая	Хлорит- гидрослюдистая	$3\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{кр}) + 2\text{H}^+ + 12\text{H}_2\text{O} = \text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 6\text{H}_4\text{SiO}_4 + 2\text{K}^+$ (1)
	Гидро- слюдистая	
Коренные породы		

Конечные результаты превращения минералов в профиле коры представлены на тройной диаграмме $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ (рис 1).

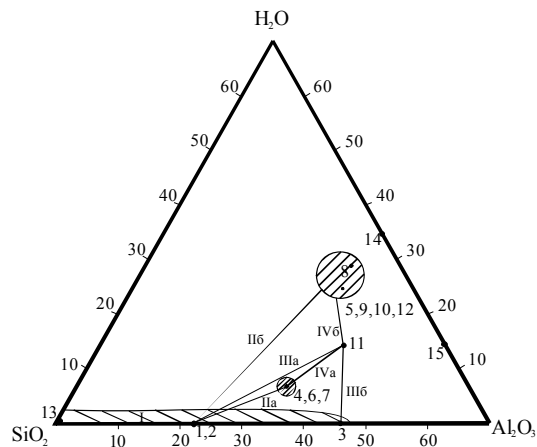


Рисунок 1 - Диаграмма $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ равновесия минеральных фаз для профиля каолининовой коры выветривания

Минеральные ассоциации:

I. Исходных сланцев: 1- калиевый полевой шпат; 2 - альбит; 3 - анортит; 4 - хлорит; 5 - монтмориллонит (сметтит).

II. Зона сапролитов: IIa: 1- калиевый полевой шпат; 2 - альбит; 6 - гидромусковит; 7 - иллит; IIб: 1 - калиевый полевой шпат; 2 - альбит; 8 - мусковит; 9 - галлуазит; 10 - энделлит; 11 - каолинит; 12 - жисмондин.

III. Зона сидерит-каолинистая: IIIa: 1 - калиевый полевой шпат; 2 - альбит; 11 - каолинит; 13 - кварц; IIIб: 3 - анортит; 11 - каолинит.

VI. Зона каолинистая: 6 - гидромусковит; 7 - иллит, 11 - каолинит.

14 - гиббсит; 15 - бемит.

Каолинит в коре выветривания по сланцам образуется преимущественно путем прямого замещения полевых шпатов с подчиненным участием механизма по промежуточным (гидрослюдистым) минералам. По результатам микроскопических исследований и физико-химического моделирования гидрослюда и ее структурные аналоги преобладают в зоне сапролитов, а в центральной зоне активно замещаются каолинитом.

На основе полученных данных проведено физико-химическое моделирование развития минеральных парагенезисов в зонах каолининовой коры, используя систему «минералы – вода» для разновозрастных подземных комплексов (неоген-четвертичного, палеогенового, верхнемелового, палеозойского). Химические составы вод нанесены на геохимическую диаграмму, дополненную автором вычисленными зависимостями концентраций щелочных и щелочноземельных катионов от величины pH (рис. 2). Моделирование выполнено с использованием программного комплекса HydroGeo. Результаты представлены в табл. 2, 3, 4.

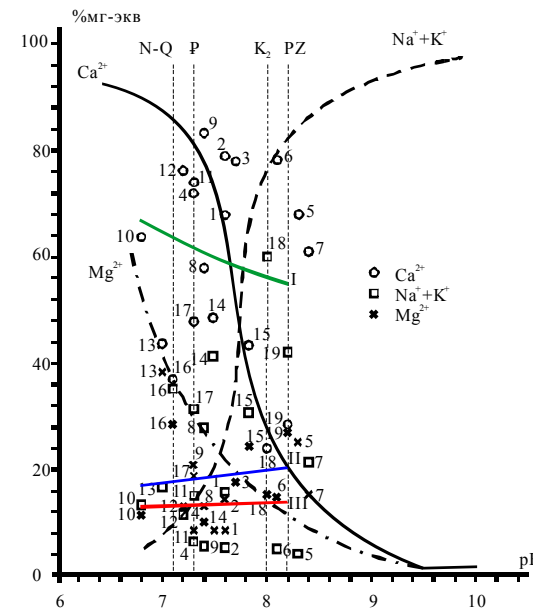


Рисунок 2 - Зависимость концентраций макрокомпонентов (Ca^{2+} , $\text{Na}^+\text{+K}^+$, Mg^{2+}) в % мг-экв в реальных подземных водах, родниках и дренажной горной выработке (ДГВ) в Лагерном саду. Диаграмма С.П. Крайнова и др. (2004) с авторскими дополнениями.

Сплошные линии - статистические средние по [Крайнов, 2004]. Пунктирные прямые вертикальные линии: левая (№17) - воды палеогенового комплекса, средняя (№16) - воды неоген-четвертичного комплекса, правая (№19) - воды палеозойского комплекса.

Остальные номера - единичные анализы [Томскгеомониторинг, ТИСИЗ]: №1 - СФ-12 ДГВ; №2 - СФ-27 ДГВ; №3 - перемычка в ДГВ; №4 - СФ-32 ДГВ, №5 - родник в оползне

№3; №6 - дренажная прорезь №3; №7 - штольня №2, проба №245; №8 - восстающий фильтр ПК 4+4; №9 - фильтр-7ПК-56; №10 - фильтр-8, ПК-62; №11 ПК 59+9 (просачивание); №12 - ПК-67+6 (просачивание); №13 - ПК-6+2, восточное крыло; №14 - ПК-60 (соскок с восстающего фильтра); №15 - ПК-66+4 (сталактиты)

I - экспоненциальная зависимость содержания ионов Ca^{2+} от pH реальных подземных вод.

II - экспоненциальная зависимость содержания ионов $\text{Na}^+\text{+K}^+$ от pH реальных подземных вод.

III - экспоненциальная зависимость содержания ионов Mg^{2+} от pH реальных подземных вод.

Во всех вышеуказанных реакциях (1-4) воды трех комплексов (кроме неоген-четвертичного) в различной степени неравновесны с первичными алюмосиликатами, что определяет различную степень растворения вмещающих пород. Неравновесность особенно четко выражается по кальцию, натрию и калию при повышенных значениях pH (7,8-8,2). Оценена величина индекса неравновесности L подземных вод комплексов относительно исследуемых минералов (табл. 2) и рассчитаны скорости растворения и осаждения минералов (табл. 3).

Таблица 2 - Результаты расчета индекса неравновесности по реакциям из таблицы 1

№ реак из табл. 1	минерал	формула	Водоносные комплексы		
			Палеогеновый	Верхнемеловой	Палеозойский
			pH=7,3	pH=8,0	pH=8,2
1 ре- акция	калиевый полево- й шпат	$3\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{кр})$	-16,48	-10,11	-7,44
	гидромусковит	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-1,40	-9,36	6,35
2 ре- акция	калиевый полево- й шпат	$2\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{кр})$	-13,51	-15,48	-63,57
	каолинит	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	0,07	-4,59	-10,08
3 ре- акция	анортит	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{кр})$	-44,39	-53,25	-9,73
	каолинит	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	-25,44	-32,12	10,47
4 ре- акция	гидромусковит	$2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-3,05	-1000	-1000
	каолинит	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	-2,18	-1000	-1000

Таблица 3 - Результаты расчета скорости осаждения по реакциям из таблицы 1, моль/(м²·сут)

№ реак из табл. 1	минерал	формула	Водоносные комплексы		
			Палеогеновый	Верхнемеловой	Палеозойский
			pH=7,3	pH=8,0	pH=8,2
1 ре- акция	калиевый полево- й шпат	$3\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{кр})$	$-5,96 \cdot 10^{-10}$	$-5,96 \cdot 10^{-10}$	$-5,96 \cdot 10^{-10}$
	гидромусковит	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	$-1,78 \cdot 10^{-11}$	$-2,36 \cdot 10^{-11}$	$2,36 \cdot 10^{-11}$
2 ре- акция	калиевый полево- й шпат	$2\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{кр})$	$-5,96 \cdot 10^{-10}$	$-5,96 \cdot 10^{-10}$	$-5,96 \cdot 10^{-10}$
	каолинит	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	$1,18 \cdot 10^{-10}$	$-1,18 \cdot 10^{-10}$	$-1,18 \cdot 10^{-10}$
3 ре- акция	анортит	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{кр})$	$-9,31 \cdot 10^{-10}$	$-9,31 \cdot 10^{-10}$	$-9,31 \cdot 10^{-10}$
	каолинит	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	$-1,18 \cdot 10^{-10}$	$-1,18 \cdot 10^{-10}$	$1,18 \cdot 10^{-10}$
4 ре- акция	гидромусковит	$2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	$-2,36 \cdot 10^{-11}$	$-2,36 \cdot 10^{-11}$	$-2,36 \cdot 10^{-11}$
	каолинит	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	$-1,05 \cdot 10^{-10}$	$-1,18 \cdot 10^{-10}$	$-1,18 \cdot 10^{-11}$

Таблица 4 - Результаты расчета объемов минералов, высаженных из растворов, мг/л

№ реак из табл. 1	минерал	формула	Водоносные комплексы		
			Палеогеновый	Верхнемеловой	Палеозойский
			pH=7,3	pH=8,0	pH=8,2
1 ре- акция	калиевый полево- й шпат	$3\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{кр})$	-0,02	-2,18	-1,49
	гидромусковит	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	0,01	1,04	0,71
2 ре- акция	калиевый полево- й шпат	$2\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{кр})$	0,12	0,16	-14,29
	каолинит	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	0,06	0,08	0,002
3 ре- акция	анортит	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{кр})$	-396,22	-482,79	-40,13
	каолинит	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	367,94	448,24	37,40
4 ре- акция	гидромусковит	$2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-267,31	-0,07	-0,42
	каолинит	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	259,87	0,07	0,41

Анализ химических реакций 1–4 позволяет сделать вывод, что они осуществляются в присутствии ионов водорода и с участием процессов гидропротонирования. Эти факты косвенно указывают также на большую роль микробиологических факторов гипергенеза, установленных и детально изученных в каолиновой коре [Фатыхова, 2006]. Существование неравновесности порождает иерархически связанные уровни минералообразования в самоорганизующихся биоминеральных системах с участием подземных вод.

Расчетные скорости растворения (табл. 3) практически мало зависят от pH в интервале 7,3–8,2; анортит растворяется почти в два раза быстрее калиевого полевого шпата и в сорок раз быстрее гидромусковита.

Наиболее благоприятные условия для образования каолинита существовали в сидерит-каолиновой зоне (рис. 1, зона IIIб) при замещении плагиоклазов по реакции (3) (табл. 4). С этой стадией каолинизации связаны максимумы геохимической подвижности и накопления благородных металлов и начинается резкое увеличение скорости накопления редкоземельных металлов на фоне понижения активности радионуклидов (рис. 3).

Из диаграммы (рис. 2) и результатов моделирования следует, что наиболее вероятные условия каолинизации существовали в обширном интервале времени при участии подземных вод трех комплексов (палеозойского, верхнемелового и палеогенового).

Для расчета динамики распределения элементов в коре выветривания мы использовали значения коэффициентов устойчивости (K) элементов, а также коэффициенты геохимической подвижности по методу абсолютных масс $K_{эп}$, что позволило выявить группы устойчивости (табл. 5) и распределение элементов внутри разных зон профиля коры (рис. 3).

Таблица 5 - Коэффициенты устойчивости K для коры выветривания сланцев и песчаников

Элементы	K	Элементы	K
1 группа. Легкоподвижные элементы		3 группа. Малоподвижные элементы	
Mg	0,38	Zr	0,8
Ca	0,3	Cr	0,7
Mn	0,45	Si	0,6
Na	0,025		
Ba	0,4		
2 группа. Подвижные элементы		4 группа. Устойчивые элементы	
Cu	0,3	Fe	0,7
Ni	0,1	Ga	0,8
Co	0,4	Al	0,8
Zn	0,5	Ti	0,6

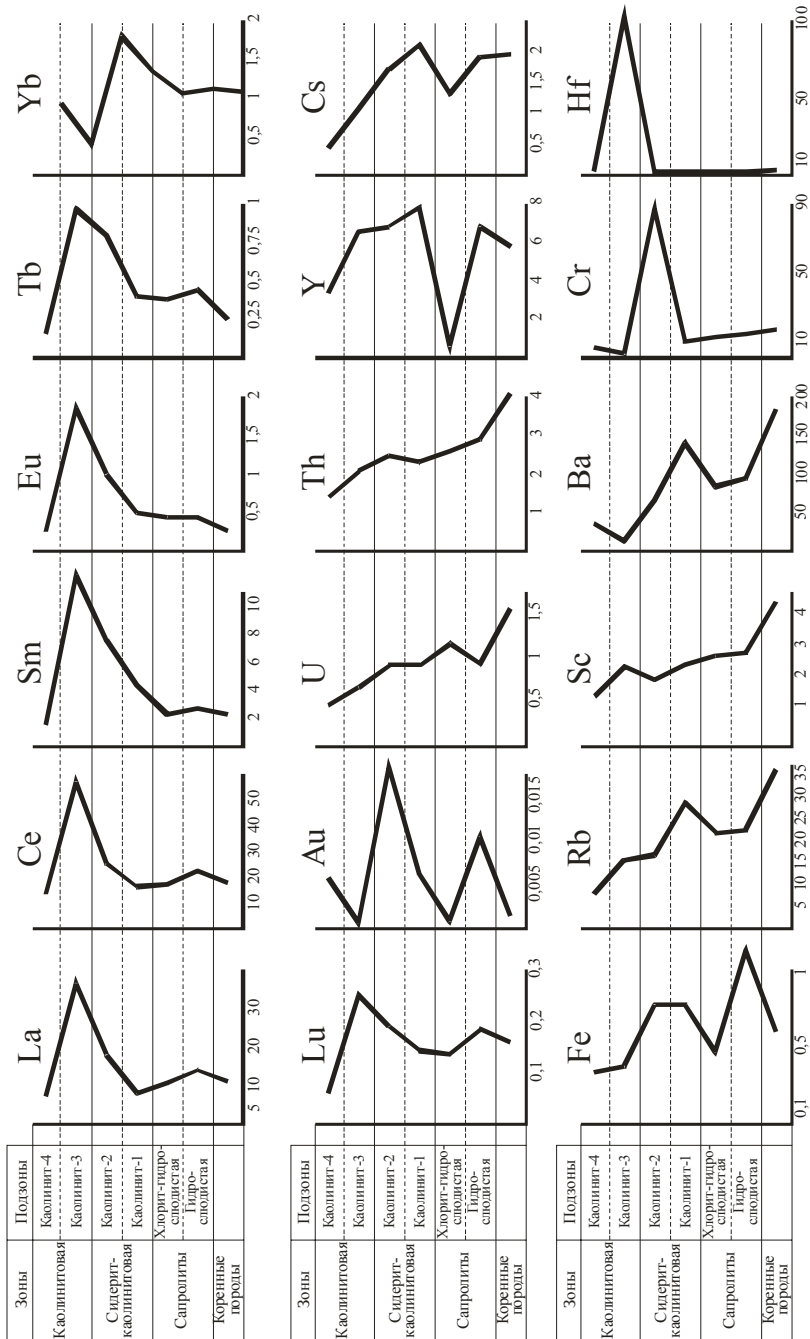


Рисунок 3 - Коэффициенты геохимической подвижности, рассчитанные по методу абсолютных масс в зонах профиля каолинитовой коры выветривания

K_{en} учитывает особенности поведения элементов. Например, железо, обладает литофильными, халькофильными и сидерофильными свойствами. В зоне сапролитов происходит разложение пирита с участием сульфатредуцирующих микроорганизмов и образование гипергенного железосодержащего хлорита. В следующей - сидерит-каолинитовой зоне, заметно обогащенной кислородом, железо выступает в другой ипостаси (литофильности), образуя сидерит и бастнезит.

Редкие щелочи (Rb, Cs) по значениям K являются, естественно, легкоподвижными. По коэффициентам геохимической подвижности можно видеть, что их относительное содержание начинает расти в верхах сапролитовой зоны и достигает максимума в низах сидерит-каолинитовой зоны, после чего начинается интенсивный вынос этих щелочей из гидросиликатных золь.

Редкоземельные элементы по значениям коэффициента устойчивости соответствуют преимущественно элементам четвертой группы. На самом деле, они обладают химическим сродством с литофильным алюминием. Вместе с тем по графикам K_{en} выявлена четкая приуроченность максимальных концентраций к нижней подзоне каолинитовой зоны. На рис. 4 видно, что в профиле изучаемой каолинитовой коры содержание основных редкоземельных элементов, а также гафния, урана и тория находится на уровне известных промышленных залежей, располагаясь между Тарским, Георгиевским и Туганским месторождениями.

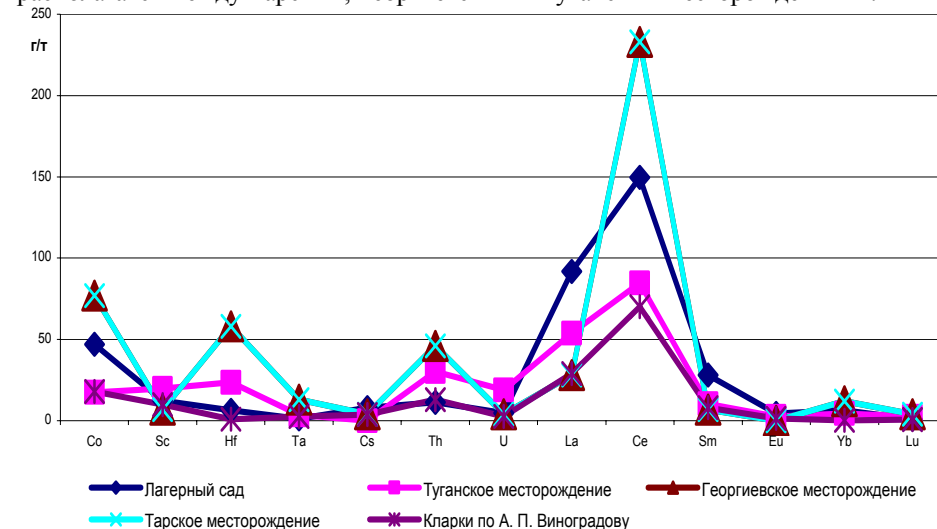


Рисунок 4 - Сравнительное содержание редкоземельных элементов в глинистой фракции профиля коры выветривания и промышленных месторождениях ильменит-цирконовых руд (источник данных по месторождениям: Рихванов и др., 2001)

По результатам минералогических исследований, сопровождавших технологическое опробование руд, сделан вывод о том, что концентратом редких земель, ниобия, тантала, скандия выступает лейкоксен [Полынов, 1934]. В

центральной зоне и в меньшем количестве в других зонах профиля коры выветривания по геохимическим данным (рис. 3, 4) и РФА нами выявлены два собственно редкоземельных минерала: *гидроксилбастнезит* $\text{Ce}[\text{CO}_3](\text{OH},\text{F})$ и *оксифторид церия и лантана* $\text{CeLa}_2\text{O}_3\text{F}_3$.

Глава 5. Радиогеоэкологический анализ территории г. Томска.

Нами изучено содержание естественных радионуклидов (ЕРН) на территории городской застройки и в дренажной горной выработке (ДГВ) в Лагерном саду. Внутри тоннеля на участках интенсивного развития процессов выщелачивания железобетона и развития сталактитов (в его восточном направлении) выявлена аномальная концентрация радона. Эквивалентная равновесная активность ($A_{\text{Rn,ЭКВ}}$) на этих участках составляет 494 Бк/м^3 , в то время как в западном направлении тоннеля ЭРОА значительно меньше и находится в пределах $86-149 \text{ Бк/м}^3$. Значения интегральной объемной активности (ИОА) радона в западном направлении меняются в пределах $169-298 \text{ Бк/м}^3$, а в восточном направлении значения ИОА радона составляют $97-988 \text{ Бк/м}^3$. Полученные результаты подтверждают пространственную связь процессов выветривания и каолинизации углисто-глинистых сланцев с эманацией радона. Процесс подъема радона к поверхности земли осуществляется по трещинным и ослабленным геоактивным зонам.

Результаты измерения ЕРН в горных породах (глинах, суглинках, кварцевых песках, известняках), используемых на территории Томской области для производства традиционных строительных материалов, позволили обнаружить, что наибольшей удельной эффективной активностью обладают каолинистые, затем аллювиальные глины, а наименьшей – карбонатные породы (табл. 6). Значения удельной эффективной активности ЕРН в этом ряду исходного нерудного сырья понижается в пределах целого порядка.

Таблица 6 - Результаты измерения активности ЕРН в горных породах

№ п/п	Материал	Удельная активность, Бк/кг				Аэфф Бк/кг
		Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137	
Исходное нерудное сырье						
24	Глина Вороновская	25,59	26,0967	288,97	10,8433	85,52
6	Глина Арышевская	31,59	37,5	238,3	15,8967	101,8
9	Глина каолинистая из Лагерного сада	107,97	235,667	375,37	52	448,1
1	Суглинок Родионовский	18,7	28,8433	350,17	14,9767	87,71
21	Песок Кудровский	11,33	13,29	42,4		32,42
22	Известняк Каменский	0	1,49	0	1,892	1,937
23	Известняк обожженный Сергеевский	3,37	1,37667	0,45	0,36667	5,2
20	Известняк-пушенка Сергеевская	8,37	11,93	86,05		31,62

Измерения концентраций ЕРН в исходном нерудном сырье месторождений, используемого для производства строительных материалов в течение более ста лет показывают, что в ряду: глины – суглинки – кварцевые пески – карбонатные породы последовательно происходит понижение удельной эффективной активности в пределах целого порядка.

Региональные радиогеохимические особенности осадочных отложений г. Томска представлены на рис. 5.

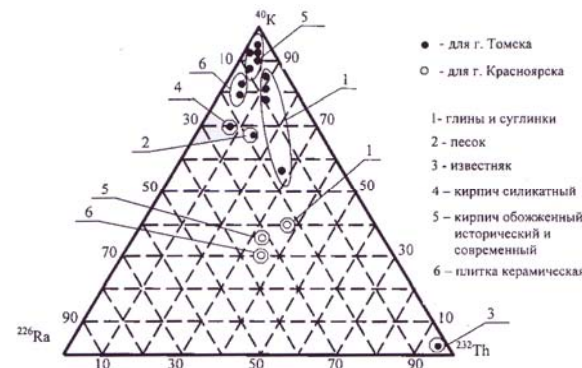


Рисунок 5 - Содержание радионуклидов в исходном нерудном сырье, керамических изделиях и зданиях исторической и современной застройки.

Для изучения зависимости и тесноты связи между $A_{\text{Rn,ЭКВ}}$ радона (количественным признаком) и степенью трансформации геологической

среды (качественными признаками) использован метод расчета биссерийного коэффициента корреляции. В результате установлена четкая корреляционная зависимость концентрации радона с линейными и узловыми разломами, (геоактивными зонами), трассируемыми ими подземными водными потоками, в том числе погребенными и захороненными палеоруслами, засыпанными озерами и болотами, ландшафтно-родниковыми зонами, горизонтами верховодки и участками подтопления в подвальных помещениях и на первых этажах. Максимальные концентрации радона связаны с началом формирования коры выветривания при участии подземных вод палеозойского комплекса. Подобные участки выявлены в ДГВ и в пределах основных геоактивных зон территории города, что находит логическое объяснение на геоэкологической карте города.

Пока не существует математической модели, которая бы учитывала совокупность различных природных факторов, влияющих на перенос радона в грунте и горных породах. Отсутствуют методы расчетной оценки радоноопасности территорий жилой застройки. В нашей стране, согласно Своду правил «Инженерно-экологические изыскания для строительства» СП 11-102-97, такая оценка ведется по результатам натурного измерения плотности потока радона с поверхности земли.

Величина плотности потока радона с дневной поверхности рельефа не характеризует возможный поток радона из строительных котлованов и подвалов проектируемых зданий, и применять ее как критерий радоноопасности участков проектируемого строительства нельзя. Отсюда следует, что определение

радоноопасности территорий должно заключаться, прежде всего, в выявлении в геологической среде потенциальных источников повышенного радоновыделения и кинетических параметров его переноса.

Выполнено картографирование территории. Значения ЭРОА радона нанесены на геоморфологическую карту 1933 г и карту с современной топоосновой. Обработка проведена с помощью программ ArcView и Surfer. Получены новые данные о мелкоблочном строении осадочных толщ и разрывной тектонике трех порядков между и внутри блоков.

Автором предложен метод расчета конвективно-диффузионной скорости переноса радона по трещинам и капиллярам осадочных горных пород с известной пористостью, типичной для грунтов территории г. Томска. Метод основан на одновременном учете избыточного давления внизу канала капилляра и гидростатического сопротивления по его длине (формула Вейсбаха-Дарси).

Перенос радона в приземный слой может происходить, если избыточное давление больше или равно гидростатическому давлению. Тогда конвективно-диффузионная скорость радона V можно вычислить по уравнению:

$$V = \frac{g \cdot (\Delta\rho) \cdot d_0^2}{32 \cdot \mu},$$

где: g - ускорение свободного падения; $\Delta\rho$ - разность плотностей радона в зависимости от температуры; d_0^2 - диаметр капилляров почво-грунта; μ - динамическая вязкость радона.

Автором для расчета конвективно-диффузионной скорости радона в суглинках г. Томска с реальными пределами пористости предложена капиллярная модель Козени-Кармана, которая позволяет сопоставить получаемые скорости. В этой модели течение жидкости (газа) считается подобным ее движению через пучок извилистых капилляров. Модель учитывает перепад давления по длине капилляра, в зависимости от пористости (формула Лейбензона).

Конвективно-диффузионная скорость переноса радона возникает при условии, что перепад давления по длине капилляра больше или равно давлению за счет мест трения. Путем сопоставления формул Дарси и Лейбензона получено выражение:

$$V = \frac{2 \cdot d_0 \cdot K \cdot (1 - \varepsilon)^2 \cdot \mu \cdot a_0^2}{\lambda \cdot \rho \cdot \varepsilon^3}$$

где: K - константа Козени-Кармана; ε - порозность слоя; a_0 - удельная поверхность зерен; λ - коэффициент гидравлического трения.

Конечные результаты хорошо согласуются между собой. Погрешность расчетов составляет 8,3%. Рассчитанные скорости близки значениям, полученным экспериментально для аллювиальных отложений г. Томска. Следует отме-

тить, что предложенный комплекс методов учитывает и минералогоструктурные и текстурные характеристики грунта, по которому движется газ, и свойства самого газа, и метеорологические параметры.

Исследования строительных материалов показали, что мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в помещениях в 10 раз выше мощности эквивалентной дозы на открытой местности (но не превышает фонового значения). Этот факт связан с эманацией радона не только из грунтовых оснований и нижележащих горных пород, но и из самих строительных материалов, содержащих акцессорные минералы. Проведенная статистическая обработка зависимости материала здания и ЭРОА радона в жилых и административных помещениях показала, что материал обуславливает 12,77% вариаций концентрации радона при постоянной естественной вентиляции.

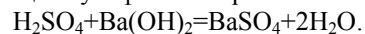
Закономерность последовательного понижения удельной эффективной активности ЕРН в строительных материалах зданий, как исторической, так и современной застройки (табл. 7) аналогична выделенной в исходном нерудном сырье месторождений (табл. 6), что позволяет сделать вывод о ведущей роли радиогеохимических особенностей исходного сырья в содержании радионуклидов строительных материалов.

Таблица 7 - Результаты измерения активности естественных радионуклидов в строительных материалах зданий

№ п/п	Материал	Удельная активность, Бк/кг				Аэфф Бк/кг
		Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137	
Материал из зданий исторической застройки						
14	Кирпич из свода подвала НТБ ТГУ (125 лет)	41,49	30,0667	280,26	26,4033	105,8
15	Кирпич из стены подвала НТБ ТГУ (125лет)	38,03	30,35	587		130,3
16	Кирпич из стены подвала НТБ ТГУ (125лет)	38,43	29,78	429,23	18,79	115,8
17	Кирпич из стены подвала НТБ ТГУ (125лет)	29,2	30,53	425,3	15,15	71,44
18	Известково-песчаный кладочный раствор между кирпичами п. 14, 15	24,14	12,09	307,03	15,45	67,49
Современные материалы						
12	Керам. плитка глазурованная ОАО ТЗКМиИ	44,83	28,98	349,8	25,78	114
10	Керамическая плитка неглазурованная ОАО ТЗКМиИ	41,91	27,48	272,23	25,28	102,1
27	Кирпич обожженный Копыловского завода	40,09	36,4233	479,27	26,21	130,6
4	Кирпич обожженный ОАО ТЗКМиИ	42,03	38,41	588,2	37,68	144,9

№ п/п	Материал	Удельная активность, Бк/кг				Аэфф Бк/кг
		Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137	
2	Шамот (бой кирпича) ОАО ТЗКМиИ	37,54	43,75	682,03		155,81
11	Пресс-порошок для керамической плитки ОАО ТЗСМиИ	29,2	26,1367	282,07	17	88,57
19	Кирпич белый силикатный Копыловского завода	17,9	5,13	54,44		29,48
25	Кирпич-сырец Копыловского завода	15,02	33,1567	321,43	19,6033	83,52

Разработан состав и метод уменьшения эманаии радона из строительных материалов в атмосферу помещений. Эта задача решается тем, что строительная смесь, включающая поргландцемент, мелкий заполнитель, воду и добавку латекса на основе акрилатов, содержит гидроксид бария. Введение в состав смеси гидроксида бария обеспечивает протекание реакции, в результате которой происходит нейтрализация сульфатной серы:



Выпадающий из раствора нетоксичный BaSO_4 обеспечивает заполнение пустот, пор и капилляров, что значительно снижает эманаию радона за счет поглощения электромагнитного излучения и защищает строительный материал от избыточной влажности, а также биологической и химической коррозии.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Специфика геологического строения территории правобережных притоков р. Томи – многочисленные выходы пород фундамента и развитие по ним коры выветривания, которые являются главным водупором для подземных вод и выступают существенным фактором трансформации ресурсной, геодинамической, геохимической и радиоэкологической функции геологической среды интенсивно застраиваемой урбанизированной территории.

Образование профиля коры происходит на фоне повышенной геодинамической активности с участием подземных вод палеозойского, верхнемелового и палеогенового комплексов и восходящих потоков растворенных газов: водорода, оксидов углерода, метана, серы, ртути и радиоактивного радона (до 980 Бк/м³).

Каолинит формируется различными способами: путем прямого замещения минералов исходных пород либо по метастабильным экзогенным минералам, включая гидрослюда. Каолинит по кислым метаморфическим породам отличается большими колебаниями структурной упорядоченности и параметров кристаллической структуры. Каолинит, образующийся по гидрослюдам и глинистым минералам, обладает пониженной структурной упорядоченностью. Наиболее благоприятные условия для образования каолинита существовали при

воздействии подземных вод палеозойского и верхнемелового комплексов при замещении плагиоклазов.

Во внутренних зонах профиля коры установлено два собственно редкоземельных минерала: *гидроксилбастнезит* $\text{Ce}[\text{CO}_3](\text{OH},\text{F})$ и *оксифторид церия и лантана* $\text{CeLa}_2\text{O}_3\text{F}_3$.

2. При изучении геохимии кор выветривания кроме коэффициентов устойчивости элементов предлагается для учета динамики поведения элементов в разных зонах профиля коры выветривания вычислять коэффициенты геохимической подвижности $K_{гп}$. С помощью этого коэффициента возможно определение места и условий накопления благородных, редкоземельных и других дефицитных металлов.

В профиле каолининовой коры содержание основных редкоземельных элементов, гафния, урана и тория находится на уровне глинистых фракций известных промышленных залежей, располагаясь между Туганским, Георгиевским и Тарским месторождениями. Это является геохимическим критерием площадного развития каолининовой коры в Западно-Сибирском регионе. В целом объемы выноса химических элементов, с учетом мощности и площади развития продуктов формации коры выветривания, сопоставимы с реальными объемами известных полезных ископаемых Западной Сибири, преимущественно аккумулятивных и стратиформных: кварцевые пески, каолиниты, бокситы, включая циркон-ильменитовые, оолитовые гидрогетит-лептохлоритовые, золоторудные (с нанодисперсными Au и редкоземельными аксессуориями), гидратогенные месторождения урана и др.

3. Минералого-геохимическое и инструментальное исследование геоактивных зон показало четкую связь между зонами активных тектонических нарушений и трассируемыми ими подземными водными потоками, в том числе погребенными и захороненными руслами рек. Прослежена зависимость между геоактивными зонами и $A_{\text{Rn,ЭКВ}}$ радона. Установлено, что максимальные концентрации радона связаны с началом формирования коры выветривания при участии подземных вод палеозойского комплекса. Подобные участки выявлены в ДГВ и в пределах основных геоактивных зон территории города.

Получены новые данные о мелкоблочном строении осадочных толщ и разрывной тектонике трех порядков между и внутри блоков. Доказана статистическая зависимость между концентрациями радона в подвальных помещениях от степени трансформации геологической среды под зданиями (наличие геоактивных зон, засыпанных рек, озер и болот, существующей подземной гидросети и ландшафтно-родниковых зон). Воды подземных потоков переносят радон от мест образования и довольно часто с помощью родников выносят его на поверхность.

Разработан метод расчета конвективно-диффузионной скорости переноса радона по трещинам и капиллярам осадочных горных пород.

4. Выявлена преобладающая роль радионуклида K-40 в удельной активности всех видов нерудного сырья г. Томска, что является отличительной геохи-

мической особенностью Томского региона. Аналогичная закономерность выявлена в строительных материалах зданий, как исторической застройки, так и современной.

Прослежена четкая зависимость между $A_{Rn,ЭKB}$ радона в помещениях и метеорологическими параметрами: при росте температуры вне помещений и понижении давления происходит увеличение $A_{Rn,ЭKB}$ радона в помещении.

5. Разработаны состав строительной смеси на основе портландцемента и модифицирующих добавок для защиты кирпичных и железобетонных конструкций, позволяющая уменьшить emanацию радона в несколько раз.

Основные работы по теме диссертации:

1. Карпачева (Сафонова) Е.В. Возникновение геопатогенных зон и их влияние на природно-техническую систему / Е.В. Карпачева, А.В. Мананков // Проблемы геологии и освоения недр. Труды Седьмого Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова. – Томск: ТПУ, 2003. – С. 632-633.
2. Карпачева (Сафонова) Е.В. Геоэкологические аспекты процесса подтопления территории г. Томска / Е.В. Карпачева, М.А. Мананков // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России. – Иркутск, 2003. – С. 127-128.
3. Карпачева (Сафонова) Е.В. Качество геологической среды территории г. Томска / Е.В. Карпачева, А.В. Мананков // Качество – стратегия XXI века: Материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Томск: ТПУ, 2003. – С. 127-128.
4. Карпачева (Сафонова) Е.В. Радиогеоэкология территории города Томска / Е.В. Карпачева, И.И. Подшивалов, А.В. Мананков // Проблемы геологии и освоения недр: Труды Восьмого симпозиума им. академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 400-летию города Томска. – Томск: ТПУ, 2004. – С.750-751.
5. Сафонова Е.В. Механизмы выделения и переноса радона и его дочерних продуктов в приземный слой атмосферы / Е.В. Сафонова, И.И. Подшивалов, А.В. Мананков // Шестое Сибирское совещание по климатозекологическому мониторингу: Материалы совещания. – Томск, 2005. – С. 237-240.
6. Сафонова Е.В. Георадиоэкология территории г. Томска / Е.В. Сафонова, А.В. Мананков / Кучинские чтения: Материалы юбилейной научной конференции, посвященной 120-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина. – Томск: ТГАСУ, 2007. – С. 116-119.
7. Сафонова Е.В. Геохимия и металлогения коры выветривания / Е.В. Сафонова, А.В. Мананков // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири: Материалы межрегиональной научно-практической конференции. – Томск: ТПУ, 2007. – С. 198-202.
8. Сафонова Е.В. Геоэкологические проблемы урбанизированных территорий / Е.В. Сафонова, А.В. Мананков, И.И. Подшивалов // Актуальные пробле-

мы экологии и природопользования в Казахстане и сопредельных территориях: Материалы Международной научно-практической конференции. – Павлодар: ПГУ, 2007. – Т.2. – С. 135-139.

9. Патент РФ № 2307811. МПК 7 С 04 В 28/02. Строительная смесь / Мананков А.В., Сафонова Е.В., Недавний О.И., Подшивалов И.И.; патентообладатель ФГНУ НИИ СМ. Заявл. 26.02.06; опубл.10.10.07. Бюл. №28.
10. Сафонова Е.В. Естественная радиоактивность территории, строительных материалов и зданий г. Томска / Е.В. Сафонова, А.В. Мананков // Экология урбанизированных территорий. – 2007. - №4. – С. 25-28.