

РАДИОНУКЛИДЫ В НЕКОТОРЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ГОРНОГО АЛТАЯ

О.И. Гусева, А.И. Гусев

Алтайская государственная академия образования, г. Бийск

Радионуклиды в экосистемах Горного Алтая имеют различную природу: 1 - природные аномалии, связанные с месторождениями и проявлениями радионуклидов; 2 - остаточные аномалии в результате испытаний на Семипалатинском полигоне; 3 - аномалии, связанные с деятельностью промышленных предприятий в крупных городах.

1. Природная радиологическая обстановка региона

Новейшие исследования (1996-2009 гг.) по проведению ГДП-200 (Новая серия) охватывают значительную территорию Алтайского края, Республики Алтай, Кемеровской, Новосибирской областей, Тувы, Хакасии, юга Красноярского края (более 345900 км²). В результате проведения этих работ выявлено значительное количество рудных проявлений и геохимических аномалий, геометризованы металлогенические таксоны разной иерархии (рудные пояса, металлогенические зона и области, рудные районы, рудные узлы, рудные поля), которые вносят значительный вклад в общий экологический облик региона, создавая крупные природные аномалии. В настоящее время завершены опережающие геохимические работы масштаба 1:200000 (с врезками более крупного масштаба 1:25 000 - 1:10 000) в пределах северной части Алтайского края и Республики Алтай (поиски по потокам рассеяния) в зоне сочленения горно-складчатого сооружения и равнинной части, а также опережающие геохимические работы и создание комплекта карт геологического содержания листов М-44, М-45, N-45, N-46, М-46 масштаба 1: 1000 000. В комплект карт входят и геоэкологические карты, отражающие современный уровень оценки состояния экосистем. По многим перспективным в рудном отношении площадям проведены прогнозно-металлогенические работы: Ново-Фирсовская, Башцелакская (Алтайский край), Курайская, Ульменская, Каурчакская (Республика Алтай) с отбором и анализом проб коренных пород, почв, донных отложений современными методами с высокой чувствительностью определения химических элементов в таких аналитических центрах, как Москва (ИМГРЭ, МГУ), Новосибирск (Институт геологии и минералогии СО РАН, НГПИЭ), Санкт-Петербург (ВСЕГЕИ) и других. Всё это позволило получить много новых данных по концентрациям тяжёлых металлов, их распределению в различных экосистемах и составить новое эколого-геохимическое районирование сложной мозаично-блоковой Алтае-Саянской провинции, значительно отличающееся от ранее составленного по своему содержанию, спектру элементов-токсикантов и степени потенциальной экологической опасности различных геологических образований.

В настоящем сообщении приведено эколого-геохимическое районирование Алтае-Саянской провинции по распределению химических элементов в коренных породах. На основе микроэлементного состава различных геологических образований и структурно-геологической позиции крупных структурно-формационных зон и геоблоков региона выделено 5 эколого-геохимических субпровинций, 16 эколого-геохимических областей и 3 эколого-геохимических зоны (рис.1).

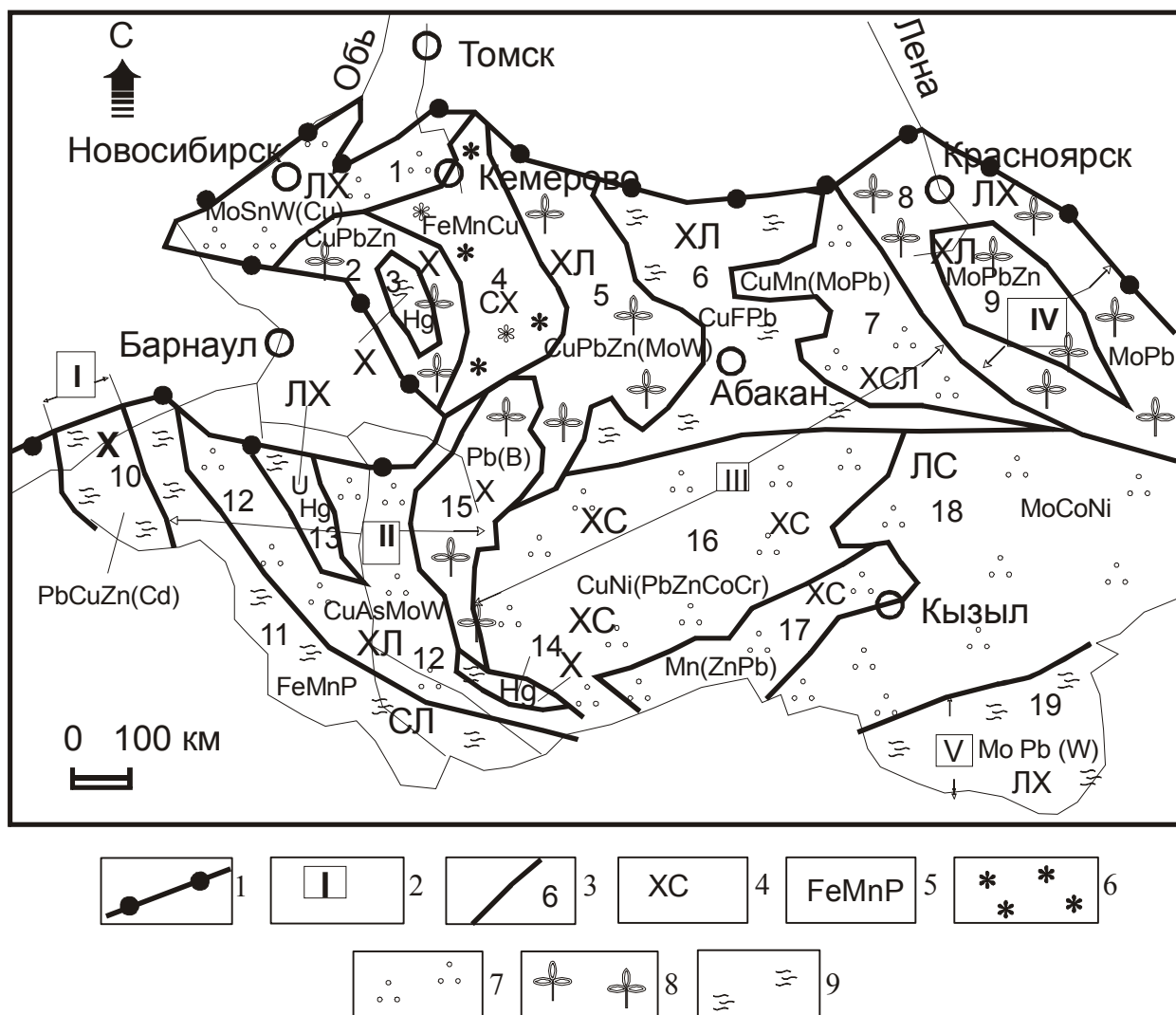


Рис. 1. Схема эколого-геохимического районирования Алтае-Саянского региона (коренные породы). Составлена А.И. Гусевым с учётом данных Г.М. Беляева, Ю.В. Ильинского.

1- Граница Алтае-Саянской складчатой области с Западно-Сибирской плитой и восточно-Сибирской платформой; 2- Геохимические субпровинции, их границы и номера (I –Рудно-Алтайская, II – Горно-Алтайская, III - Кузнецко-Западно-Саянская, IV – Восточно-Саянская, V – Сангиленская); 3- эколого-геохимические области, их границы и номера: 1- Томь-Колыванская, 2- Салаирская, 4- Кузнецкая, 5- Кузнецко-Шорская, 6- Минусинская, 7- Сисим-Казырская, 8- Агульская, 9- Восточно-Саянская, 10- Рудно-Алтайская, 11- Холзунско-Коктогайская, 12- Ануйско-Чуйская, 15- Уймено-Лебедская, 16- Западно-Саянская, 17- Центрально-Тувинская, 18- Восточно-Тувинская, 19- Сангиленская; эколого-геохимические зоны и их номера: 3- Аламбай-Уксунайская, 13- Сарасинская, 14- Курайская, 4- геохимические типы эколого-геохимических областей: X- халькофильный, СЛ- сидеролитофильный, ЛХ- литохалькофильный, ХС- халькосидерофильный, ХЛ- хальколитофильный, ХСЛ- халькосидеролитофильный; 5 – химические элементы-токсиканты в порядке уменьшения их частоты встречаемости и уровней накопления в экосистемах (в скобках – второстепенные элементы); 6-9- степень потенциальной экологической опасности геологических образований по особенностям их химического состава: 6- низкая, 7- умеренная, 8- высокая, 9- очень высокая.

В структуре аномального геохимического поля важную роль играют токсичные элементы, обладающие определённым потенциалом экологической опасности (ПЭО). Элементы первого класса опасности представлены мышьяком, кадмием, свинцом, цинком, бериллием, ртутью, фтором; второго класса – молибденом, медью, бором, кобальтом, никелем, сурьмой, хромом; третьего класса - марганцем, ванадием, вольфрамом.

Сам по себе факт повышенных концентраций указанных элементов в коренных горных породах ещё не является признаком экологической опасности геологической среды, чему примером – тысячелетняя практика разработки месторождений рудных полезных ископаемых. Опасными высокие концентрации элементов-токсикантов в породах становятся в сочетании с высокими значениями показателей неоднородности их распределения, свидетельствующие о проявленности на конкретных территориях эпигенетических процессов перераспределения вещества путём перевода их в подвижное состояние, первоначально жёстко связанных в кристаллических решётках минералов горных пород, сульфидных и жильных минералах в рудах и околорудных метасоматитах, в интенсивных геохимических аномалиях. Под воздействием гипергенных процессов, а также техногенных, связанных с добычей и переработкой руд, открывается путь продвижения по трофической цепи и накопления в экологически опасных концентрациях указанных элементов в почвах, донных отложениях, подземных и поверхностных водах, способствующих возникновению эндемических болезней у различных представителей биоса (Гусев, 2005; Гусев, Русанова, 2005). Впервые на эколого-геохимической схеме показаны биофильные элементы – фосфор и бор, играющие важную роль в процессах биологического накопления этих элементов в растениях и животных.

Оценка уровня накопления микроэлементов в структурно-вещественных комплексах Алтае-Саянского региона проведена в трёх градациях коэффициентов концентрации (K_k): $K_k < 1,5$ (первый уровень накопления), $1,5 < K_k < 2,5$ (второй уровень накопления), $K_k > 2,5$ (третий уровень накопления). При составлении схемы акцент был сделан на выявление геологических комплексов с положительной геохимической специализацией. Тем самым из рассмотрения выпала большая группа микроэлементов, содержания которых в горных породах региона оказались ниже кларков земной коры, и на данном этапе не представляется возможным оценить экологическое значение зон дефицита химических элементов, играющих также важное значение для нормального развития биоты.

На схеме видно, что геологические образования с очень высокой степенью ПЭО занимают примерно 20 % рассматриваемой территории и в структурном отношении тяготеют к Рудно-Алтайской, Горно-Алтайской складчато-надвиговым системам, Тувино-Монгольскому массиву и к Минусинским впадинам. В Салаире и Горном Алтае выделены линейные эколого-геохимические зоны с очень высокой степенью ПЭО, которые контролируются зонами глубинных разломов, контролирующими размещение ртутного, золото-ртутного и реже – уранового оруденения. Совмещение ртутного и уранового оруденения в Сарасинской зоне необходимо рассматривать как площадь экологического бедствия, где уран и ртуть в повышенных концентрациях отмечены в подземных водах, поверхностных водотоках, донных отложениях, почвах и в различных видах растений.

В настоящее время большая часть Алтайского края и Республики Алтай покрыта аэрогамма-спектрометрическими съёмками масштаба 1:25000, выполненными геофизическими организациями Южсибгеолкома. По результатам работ составлены карты гамма-поля и содержаний урана, тория, калия в масштабе 1:25000. Эти материалы в сочетании с наземными наблюдениями, выполненными в процессе крупномасштабных геологических съёмок и специализированных поисков радиоактивного сырья, позволяют оценить радиологическую обстановку территории. В пределах Алтайского края и Республики Алтай фоновые содержания радиоактивных элементов в почвах близки к таковым в Европе (уран – 1,6 г/т, торий – 6 г/т, калий – 1,4 %).

В Алтайском регионе в районах распространения осадочных и магматических пород основного состава фоновая радиоактивность колеблется от 5 до 15 мкр/час, содержание урана в почвах до 2 г/т, тория – 2-10 г/т, калия – 1,4 %. Соответственно, фоновые содержания этих элементов в донных осадках составляют (г/т): урана - около 3, тория – 6.

Содержания урана в коренных осадочных и магматических породах основного состава – до 3 г/т, тория – 3-6 г/т, калия – 1-3 %. Несколько повышенные значения аэрогамма-спектрометрических полей отмечаются в районах распространения гранитных интрузий, эффузивных образований кислого состава, а также метасоматически изменённых пород. Здесь фоновая интенсивность гамма-поля 20-30 мкр/час. В пределах некоторых анорогенных гранитных массивов выделяются участки автосоматически изменённых порфировидных гранитов с повышенным фоном гамма-поля до 40-60 мкр/час (Белокурихинский, Синюшинский, Тигирекский, Талицкий, Боровлянский, Аскатинский и другие массивы). Фоновое содержание в почвах, донных осадках и коренных породах здесь достигает: урана - 3-5 г/т, тория – 5-13 г/т, калия – более 4 %, местами до 8-9 %.

В настоящее время накоплен огромный фактический материал по радиоактивным аномалиям урановой и ториевой природы в пределах Алтайского края и Республики Алтай. В большинстве своём это сравнительно небольшие объекты, площадь которых редко превышает первые десятки квадратных метров, а интенсивность гамма-поля достигает 80-100 мкр/час. В ряде случаев эти мелкие объекты группируются в зоны повышенной радиоактивности, сопровождаемые повышенными содержаниями радона в воде (Белокурихинско-Искровская зона и другие). Экологическая опасность таких объектов оценивается как незначительная, однако строительство народно-хозяйственных объектов в пределах таких зон не рекомендуется из-за повышенного радонового и гамма-поля, превышающего санитарные нормы фона. Вместе с тем, в пределах Алтайского края и Республики Алтай имеются аномальные участки, перспективы которых на выявление руд радиоактивных элементов геологи оценивают достаточно высоко.

К таким участкам относятся Сарасинская, Сумультинская, Черногорская ураноносные зоны. Наиболее опасен Сарасинский участок, так как он располагается в пределах компактного проживания людей (села Сараса, Пролетарская и др.) и возделываемых сельскохозяйственных земель.

Сарасинский участок включает в себя две аномалии урановой природы радиоактивности (№ 2, 3), выявленные по аэрогамма-спектрометрическим данным и проверенные наземными методами. Кроме того, в пределах участка известна еще серия таких же урановых аномалий, выявленных в предыдущие годы при геолого-съёмочных и поисковых работах. Перечисленные аномалии обусловлены интенсивно дробленными, окварцованными и в той или иной мере сульфидизированными углеродисто-кремнистыми сланцами с повышенным содержанием урана, ванадия, молибдена, залегающими в виде отдельных маломощных (50-100 м) горизонтов среди сланцево-карбонатных отложений докембрия. Участок приурочен к зоне Сарасинского разлома и полностью входит в контур ртутно-рудной зоны. Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод о том, что Сарасинский участок является перспективным для поисков урановых месторождений, связанных с широко известной осадочно-метаморфизованной ванадиево-молибдено-мышьяково-ураноносной сланцевой формацией и локализующихся в наложенных зонах дробления и средне-низкотемпературной гидротермальной проработки. В зонах сульфидизации наряду с ураном могут залегать сульфидные полиметаллические руды с серебром, возможно, и с золотом. С другой стороны, этот участок опасен с экологической точки зрения.

Аномалия № 2 (Сарасинская) расположена в нижней части правобережного склона долины ручья Аникова (в 1,0 км выше его устья), являющимся правым притоком реки Сараса и впадающим в нее против центральной части села Сараса. В результате проведенных работ установлено, что Сарасинская аномалия обусловлена зоной дробленных, рассланцованных и сульфидизированных черных углеродисто-кремнистых сланцев, залегающих в виде тектонического клина совместно с темно-серыми известковистыми филлитами (внизу разреза) и черными массивными углеродистыми кварцитами (вверху). В целом пере-

численные породы образуют единую широтно простирающуюся моноклиналию пачку с падением на север под углом 50-70°. Радиоактивность филлитов (замеры в канаве и шурфе радиометром СРП-68-01 без экрана) составляет 26-28 мкр/час, повышаясь в зонах дробления и окварцевания до 40-170 мкр/час (наблюдение в шурфе и в канавах). По данным гамма-спектрометрии (в канавах), содержание урана в филлитах составляет $3-5 \times 10^{-4}\%$ (в зонах дробления – до $20-35 \times 10^{-4}\%$), тория – $6-12 \times 10^{-4}\%$, калия – 1-2 %. Повышенной фоновой радиоактивностью обладают углеродисто-кремнистые сланцы (от 26-35 мкр/час до 40-45 мкр/час). Содержание урана в них (по наземной гамма-спектрометрии) составляет $10-20 \times 10^{-4}\%$, тория – $3-4 \times 10^{-4}\%$, калия – 2 %. Наиболее полное пересечение по мощности одной из таких зон получено в канаве № 1. Радиоактивность дробленных и сульфидизированных сланцев в зонах составляет от 50-60 до 80-110 мкр/час, филлитов – до 170 мкр/час (наблюдение в шурфе). Содержание урана по данным гамма-спектрометрии составляет от $40 \times 10^{-4}\%$ до $56 \times 10^{-4}\%$ при фоновом содержании тория ($2-4 \times 10^{-4}\%$) и калия (1-2 %). По данным лабораторных анализов, содержание урана в аномальных зонах (по штуфным пробам) составляет от $26-30 \times 10^{-4}\%$ до $150-230 \times 10^{-4}\%$, свинца – от $9-12 \times 10^{-4}\%$ до $33-59 \times 10^{-4}\%$, тория – $1-3 \times 10^{-4}\%$. Содержание радиогенного свинца (по данным изотопно-свинцового анализа) колеблется от 28-34 до 43-54 %. В результате минералогического анализа образцов установлено, что повышенная радиоактивность пород обусловлена ураном, находящимся в рассеянной форме в углеродистом веществе, в глинисто-галлуазитовом материале и в гидроокислах железа. Сопоставляя результаты пересчета концентраций урана для различного возраста оруденения с современными содержаниями урана и радия, можно предположить, что основная часть урана в зонах дробления сорбирована в гипергенных условиях и имеет возраст моложе 200 млн. лет. По данным спектрального анализа штуфных проб для описываемых образований характерно повышенное содержание фосфора (0,5-0,8 %), бария (0,02-0,03 %), хрома (0,04-0,06 %), ванадия (0,06-0,15 %), никеля (0,06-0,2 %), иттрия (0,02-0,1 %), мышьяка (0,02 %), особенно меди (0,15-6 %), цинка (0,04-0,2 %) и молибдена (0,01-0,06 %).

Мощность зоны с повышенным содержанием урана и перечисленных элементов, судя по канаве № 1, составляет не менее 3 м. Содержание урана на эту мощность, по данным бороздового опробования, составляет 0,0057 %. По простирацию горными выработками зона не вскрыта. Кроме зоны, вскрытой канавами № № 1, 2 в пределах участка, особенно в восточной его части, встречаются (в многочисленных свалах) дробленные и брекчированные углеродисто-кремнистые сланцы и кварциты с интенсивной лимонитизацией и окварцеванием. Такие образования в коренном залегании частично вскрыты канавой № 3. По внешнему облику – это черные, довольно плотные брекчиевые породы, пронизанные многочисленными маломощными (от долей см до 3-5 см) кварц-лимонитовыми прожилками. В отдельных участках такие прожилки выступают в роли цемента угловатых обломков окремненного и обохренного сланца. Лимонит, судя по структурно-текстурным особенностям, скорее всего образовался гидротермальным путем, а не за счет гипергенеза железосодержащих минералов типа пирита. Описываемые образования (по данным замеров радиометром СРП-68-01 в канаве и по глыбам в свалах) обладают повышенной радиоактивностью – до 50-65 мкр/час. Гамма-спектрометрия по канаве № 3 показывает, что содержание урана в них достигает $40-50 \times 10^{-4}\%$ при кларковых содержаниях тория ($5-6 \times 10^{-4}\%$) и калия (0,5-1 %). Содержание урана по данным лабораторных анализов в этих породах составляет до 0,0057-0,0064 %. Мощность и протяженность зон лимонитизации сланцев и кварцитов не установлены. Но, судя по общим наблюдениям, они должны быть довольно значительными.

В целом описанные проявления весьма схожи по составу и условиям залегания с крупными месторождениями урановых руд Тюрингии и Северной Австралии. Приуроченность проявлений к продуктивной рудоносной углеродисто-кремнисто-сланцевой формации ба-

ратальской серии позволяет предположить наличие не только проявлений в зонах разломов, описанных выше, но и крупных стратиформных залежей более приоритетного геолого-промышленного типа оруденения урана. Такое соседство урановых залежей с населёнными пунктами весьма опасно. Это тем более опасно, что в водные потоки и р. Сарасу попадают такие токсичные элементы как ртуть, уран, торий, радон, мышьяк, молибден, медь, сурьма.

На радиохимической карте масштаба 1:1000000, составленной ВСЕГИНГЕО (Смыслов А.А. и др.) в 1996 году территория Алтая по степени накопления урана и тория отнесена к повышенно-радиоактивной. В.Е. Кац (2000) оценивает среднюю величину экспозиционной дозы облучения для территории Горного Алтая в 14,4 мкр/час. Средняя доза естественного гамма-излучения геологической среды составляет 1260 мкЗв/год (средняя по России 535 мкЗв/год), что позволяет отнести геологическую среду Горного Алтая к территории с высокой природной радиацией.

С учётом космического излучения, которое зависит от высоты местности, суммарная (природная плюс космическая) доза естественного облучения для отдельных площадей Республики Алтай, по В.Е. Кац (2000), составляет: в низкогорье – 1,96 мЗв/год, в среднегорье – 2,76 мЗв/год, а в высокогорной местности – 3,36 мЗв/год (предельная годовая радиационная доза для населения составляет 5 мЗв/год). Для степной части Алтая суммарная доза естественного облучения ниже – 1,96 мЗв/год.

2. Природные радоновые аномалии

По оценке Алтайского краевого комитета по экологии и природным ресурсам, горное обрамление равнинной части края следует считать источником аномальных концентраций радона в компонентах ландшафтов: горных породах, почвах, поверхностных водах, источниках. В тоже время радоновые аномалии известны и в равнинной части Алтая, и в пределах горного сооружения. Весьма серьёзного внимания заслуживают повышенные концентрации радона, сопровождающие гранитные анорогенные массивы и зоны повышенной радиоактивности. В пределах Алтая известны месторождения радоновых вод: Белокурихинское, Джумалинское, Каменское. Проявления радоновых вод установлены на правом берегу р. Чарыш (Калманский гранитный массив), по периферии Чуйского межгорного артезианского бассейна и в северо-западной части Рудного Алтая (г. Синюха), а также в ряде других районов. Эманационные радоновые съёмки в пределах Алтайского края и Республики Алтай проводились в ограниченном количестве, преимущественно с поисковыми целями, но в последние годы также и во многих населённых пунктах экологическими службами установлены весьма значительные концентрации радона (до 5-10 ПДК и более). По данным научного комитета ООН по действию атомной радиации, около 20% всех заболеваний раком легко может быть обусловлено воздействием радона и его продуктов распада. Учитывая широкое распространение в пределах Горного Алтая и в палеозойском фундаменте равнинной части Алтая гранитных массивов анорогенного типа, потенциальная радоновая опасность для населения достаточно высока.

Радон-222 является продуктом распада радия-226, который образуется в процессе распада урана-238. Это радиоактивный бесцветный, не имеющий запаха газ с периодом полураспада 3,82 суток. Он в 7,5 раз тяжелее воздуха, легко растворяется в воде. Продукты его распада являются интенсивными альфа-излучателями с энергией 5,27-8,78 МэВ. Это и обуславливает их активное действие на биологические ткани внутренних органов человека (бронхи, почки и другие). Продукт распада тория – радий – торон-220, период его полураспада 55,6 секунд, энергия альфа-излучения – 6,287 МэВ. В процессе своей жизни человек постоянно вдыхает радон, в среднем в год человек получает на открытом воздухе 220 мкЗв, в

1. Классификация радоноопасности территории и защитные мероприятия

Степень опасности	Геологическое строение, породы	Требования к технологии строительства
Очень высокий риск	Зоны пересечения тектонических нарушений	Конструкции, исключаящие поступление радона в здание
Высокий риск	Граниты с высоким содержанием урана. Пегматиты и кварцевые сланцы. Почвы с высокой проницаемостью, гравийные или крупнозернистые пески, фосфориты, тектонические нарушения.	Радонобезопасные конструкции: уплотнения, непроницаемые фундаменты, вентиляция подпольного пространства
Средний риск	Грунты и почвы с низким или нормальным содержанием урана и средней проницаемостью. Концентрация радона в почвенном воздухе 10000-50000 Бк/м ³	Радонозащищённые конструкции. Не допускаются открытые (неуплотнённые) каналы в фундаменте
Низкий риск	Грунты с очень низким содержанием урана, известняки, песчаники, основания вулканического происхождения. Почвы с очень низкой проницаемостью, глины, илы, а также почвы с концентрацией радона менее 10000 Бк/м ³	Не предъявляются

помещении из строительных материалов - 350 мкЗв, из почвы - 690 мкЗв. Облучение продуктами распада радона и торона в среднем составляет 43 % от общего облучения человека различными радиоактивными источниками.

Радон содержится в природном газе и воде. Из строительных материалов и из грунтов под зданиями человек получает 60 % всего радона. От природного газа - 3 %, из воды - 4 %, из наружного воздуха - 10 %. При содержании радона в подпочвенном воздухе свыше 10000 Бк/м³ необходимо предусматривать в проектах на строительство зданий защиту от поступления радона из грунтов. По нормам радиационной безопасности (НРБ-96) предусмотрена норма по содержанию радона в воздухе помещений. Эффективная равновесная объёмная активность радона (ЭРОА) в новых зданиях - 100 Бк/м³, а в старых постройках - 200 Бк/м³.

Основным источником радона являются породы с повышенным содержанием урана-238, это некоторые типы гранитов (анорогенных) и пегматитов, урансодержащие песчаники и сланцы. Уран и радий перераспределяются в процессе дробления пород и выветривания, а также вымывания грунтовыми водами. В.Е. Бабушкиным (1998) по типам грунтов предложена классификация радоноопасности территории (табл.1).

Анализ таблицы показывает, что максимальную степень риска имеют участки пересечения разломов, территории, сложенные легко проницаемыми гравийно-песчаными материалами, ледниковые отложения, углеродисто-кремнистые сланцы, фосфориты, гранитоиды, обогащённые ураном и торием. Среднюю степень риска имеют площади, сложенные грунтами и почвами с низкими концентрациями урана и характеризующимися средней проницаемостью. Породы этой категории риска представлены кварц-полевошпатовыми гнейсами, биотитовыми гнейсами. Низкую степень риска представляют грунты с низким содержанием урана и характеризующиеся низкой проницаемостью. Породы этой категории риска - известняки, песчаники, вулканогенные образования, ультрабазиты и базиты.

Радиоактивный газ торон - продукт распада тория и его опасность для человека также высока. Породы, содержащие торий - монацитовые пески, глины, монацитовые граниты относятся к торонаопасным.

2. Усреднённые данные измерений содержаний радона по районам г. Бийска и Бийского района (По В.Е. Бабушкину, 1998)

Мощность экспозиционной дозы, мкр/час	Эффективная равновесная объёмная активность радона, Бк/м ³			Концентрация радона в воде, Бк/кг	Концентрация радона в подпочвенном воздухе, Бк/м ³
	Подвал	1 этаж	2-5 этажи		
	Район «горы», правый берег р. Бии				
9-13	92-581	32-405	10-54	42-118	22000
	Заречье, левый берег р. Бии				
9-12	54-266	25-114	11-50	55-96	8000
	Пойма, правый берег р. Бии				
10-13	30	20-75	8-23	30-76-96	12000
	Район с. Мало-Енисейское, левый берег р. Бии				
8-13	650	50-400	20-50	15-38-116	21000-52000
	Район с. Мало-Угрёво, правый берег р. Бии				
10-12	311	25		15000	20000
	Район Новостройки, правый берег р. Бии				
9-14	52-198	12-60	13-64	30-50	10000

Интенсивный фильтрационный перенос радона к земной поверхности наблюдается в зонах тектонических нарушений, в местах пересечения разнонаправленных разломов. В этой связи милониты и зоны брекчирования имеют высокую степень риска. Следовательно, выбор территорий застройки жилых и производственных помещений должен осуществляться на добротной прогнозной карте радоноопасности с учётом данных о наличии тектонических нарушений и оценки содержаний радона в породах, грунтах.

Анализ геологических карт показывает, что ряд городов и посёлков Алтайского края и Республики Алтай располагаются в неблагоприятных обстановках по радоноопасности. Горно-Алтайск, Бийск, Камень-на-Оби, Белокуриха располагаются или на крупных разломах, или в зонах влияния глубинных разломов, характеризующихся высокой радоновой эмиссией. Кроме того, некоторые города располагаются в пределах выходов гранитных массивов, характеризующихся повышенной радиоактивностью (Бийск, Белокуриха, Камень-на-Оби).

Изучение радоноопасности территории г. Бийска и Бийского района, проведённое Бийским городским центром санэпиднадзора, позволило установить связь радоноопасности конкретных территорий с их геологическим строением. Так, в некоторых зданиях, построенных на 5 надпойменной террасе, отмечено повышение радона до 581 Бк/м³, в подпочвенном воздухе - 22000 Бк/м³, в пойме реки Бии и на 1, 2, 3 террасах концентрация радона в подпочвенном воздухе несколько ниже – от 7000 до 12000 Бк/м³. Концентрации радона в подвалах - 59-266 Бк/м³, на 1 этажах зданий – 12-114 Бк/м³, на 2-5 этажах – 11-64 Бк/м³. В артезианских скважинах, пробуренных в пойме реки, содержание радона колеблется от 30 до 95 Бк/кг, в скважинах, пробуренных на 5 надпойменной террасе, до 120 Бк/кг. Содержание радиоактивного газа радона-222 в атмосфере города – 13-15 Бк/кг на уровне 1 м от почвы. Данные по радоноопасности районов города и Бийского района приведены в табл. 2.

Анализ таблицы 2 показывает, что территорию г. Бийска и Бийского района можно отнести к средней степени риска по радоноопасности. Это связано с тем, что вдоль р. Бии проходит крупный разлом, а также и с тем, что под наносами голоценовых образований находится Бийский гранитный массив, характеризующийся повышенной радиоактивностью. К району с низкой степенью риска можно отнести заречную часть города (левобере-

жье р. Бии). Высокая степень риска отмечается по концентрациям радона для района с. Мало-Енисейское (левый берег р. Бии).

При выборе площадки под строительство жилых и производственных помещений необходимо провести измерение содержаний радона в почвенном воздухе для принятия решения при проектировании:

- интенсивность эксхалляции (ИЭ) радона до 30 м Бк/с м² – территория относится к радонобезопасной;

- ИЭ от 30 до 80 м Бк/с м² – разрешается строительство только радонозащищённых зданий;

- ИЭ более 500 м Бк/с м² – перенос здания или применение конструкций, исключающих поступление радона в здание.

Следует отметить, что одним из простых профилактических мероприятий в радоноопасных районах является регулярное проветривание жилых и производственных зданий.

3. Антропогенные аномалии радионуклидов

Среди антропогенных аномалий в регионе выделяются два типа: 1- связанные с испытаниями на Семипалатинском полигоне и 2- связанные с функционированием предприятий энергетического комплекса.

3.1. Аномалии, связанные с испытаниями на Семипалатинском полигоне

Остаточные аномалии радионуклидов от испытаний на Семипалатинском полигоне на территории Горного Алтая образуют мозаичную картину распределения в виде своеобразного фена, вытянутого в северо-западном направлении от Рубцовска до Телецкого озера, отражая доминанту в «розе ветров». Фен своим длинным измерением располагается вдоль фаса Алтая. Для определения содержаний радиоактивных изотопов нами опробованы донные отложения некоторых озёр (с юго-запада на северо-восток): Дресвянка, Куреево, Телецкое. Результаты анализов приведены в табл. 3. Анализ полученных данных показывает закономерное увеличение средних содержаний радионуклидов с юго-запада на северо-восток.

Кроме того, отмечается сбалансированность концентраций урана, тория и удельных активностей изотопов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Следует указать на значительные концентрации урана (125-145 мг/кг), определённые в двух пробах донных отложений озера Куреево, с повышенным содержанием C_{орг} (до 1,5 %). Следовательно, содержание урана в донных отложениях имеют тенденцию накапливаться селективно в тех разностях, которые обладают повышенными концентрациями C_{орг}.

Аналогичные определения выполнены для папоротников и лишайников в районе пос. Куреево и Дмитриевки. Сравнение данных по донным отложениям озёр и растениям свидетельствует о незначительном накоплении радионуклидов в лишайниках и папоротниках при некоторых более высоких концентрациях в первых.

3. Средние содержания радионуклидов и удельные активности ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в донных отложениях некоторых озёр Горного Алтая

Озёра	Количество проб	U, мг/кг	Th, мг/кг	¹³⁷ Cs, Бк/кг	⁹⁰ Sr, Бк/кг
Дресвянка	3	85,8	63,7	220	80
Куреево	4	73,7	52,2	210	60
Телецкое	5	62,4	48,1	180	45

Примечание. В таблицах приведены анализы, выполненные гамма-спектрохимическим методом в лаборатории Геохимии СО РАН (Иркутск).

4. Средние содержания радионуклидов и удельные активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в папоротниках и лишайниках

Привязка	Количество проб	U, мг/кг	Th, мг/кг	^{137}Cs , Бк/кг	^{90}Sr , Бк/кг
Папоротники					
Куреево	4	0,6	0,7	80	45
Дмитриевка	5	0,7	0,9	95	52
Лишайники					
Куреево	5	0,9	1,1	120	70
Дмитриевка	5	1,0	1,2	130	65

Следует указать, что ранее нами определены повышенные концентрации ^{90}Sr в листьях тополя в районе Бийской табачной фабрики (Гусев и др., 2003). Отмеченные аномальные концентрации радиоактивного изотопа стронция в листьях тополя связаны с тем, что при горячей паровой обработке табака и сбросе отработанного пара в окружающее пространство происходит накопление радиоактивного изотопа в листьях растений, произрастающих рядом с табачной фабрикой. Табак, как известно, является концентратом стронция в период его вегетации.

Другая примечательная особенность селективного накопления радионуклидов в растениях выявлена при опробовании разных частей папоротников и лишайников от апикальных частей к корневым, перегнойной подстилке и почве. В указанном направлении происходит закономерное увеличение удельных активностей ^{137}Cs в лишайниках от 120-130 Бк/кг в районе Куреево до 210 Бк/кг в районе корневой системы и перегнойной подстилке, где наблюдается обогащение радионуклидами в процессе многоактного сезонного отмирания подстилки растения и их перегное. Аналогичная закономерность отмечена в поведении изотопа стронция в лишайниках и папоротниках.

3.2. Радионуклиды золошлаковых накоплений предприятий энергетики

Заражение экосистем радионуклидами, связанное с функционированием промышленных предприятий энергетического комплекса, носит более локальный характер. Нами изучены золошлаковые накопления теплоэлектроцентралей городов Барнаула и Бийска и их влияние на донные отложения рек Оби и Бии. Актуальность исследований определяется тем, что указанные предприятия располагаются в пределах водоохранных зон уникальных артерий Алтая – рек Оби и Бии. ТЭЦ Барнаула и Бийска выбрасывают в атмосферу не только значительное количество твёрдых частиц вместе с дымом, но и в результате сжигания бурого угля образуются громадные золошлаковые отходы. Последние транспортируются в золоотвалы гидравлическим способом, при котором происходит активное взаимодействие отходов с водной средой. Агрессивные компоненты отходов поступают в почву, проникают в водоносные горизонты пойм обследованных рек, сбрасываются в последние, что не могло не сказаться на составе донных отложений в районе теплоэлектроцентралей.

Радиоактивность шлаков ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 г. Барнаула показывает широкие вариации: от 25 до 45 мкр/час. Фоновые значения радиоактивности почвы на южной окраине города составляют 10 мкр/час.

Радиоактивность шлаков ТЭЦ-1 г. Бийска варьирует от 19 до 22 мкр/час, ТЭЦ-2 – от 18 до 28 мкр/час. Фоновые значения радиоактивности почвы в районе с. Малоенисейское составляет 10,1 мкр/час. Следовательно, радиоактивность шлаков ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 превышает фоновые значения в 2 раза. Поэтому возникла необходимость определения точного содержания радионуклидов в самих шлаках и депонирующих средах. Перечень опробованных сред и концентрации урана и тория сведены в табл. 5.

5. Средние содержания (С) и коэффициенты концентрации (К_с) урана и тория в некоторых средах

Среды опробования их привязки, количество проб	Содержания, Бк/кг			
	Уран		Торий	
	С	К _с	С	К _с
Шлаки ТЭЦ-2 (n=5), г. Барнаул	80,6	8,1	51,8	6,2
Донные отложения р. Оби в районе стоков (n=6)	42,3	4,2	34,4	4,1
Шлаки ТЭЦ-3 (n=4), г. Барнаул	78,2	7,8	32,7	3,9
Шлаки ТЭЦ-1 (n=6), г. Бийск	74,5	7,8	42,3	5,0
Донные отложения оз. Кругленького (n=4)	175,4	17,4	82,6	9,8
Донные отложения р. Бии в районе стоков (n=6)	34,7	3,4	21,3	2,5
Шлаки ТЭЦ-2 (n=5), г. Бийск	64,8	6,4	41,3	4,9
Донные отложения лимана в районе ТЭЦ-2 (n=5), г. Бийск	194,7	19,5	101,3	12,0
Донные отложения р. Оби выше Барнаула (n=5)	10,2		8,5	
Донные отложения р. Бии, сел. Дмитриевка (n=15)	10,3		8,6	
Донные отложения р. Бии, сел. Малоенисейское (n=12)	9,9		8,2	

Примечание: n- количество проб.

В районе ТЭЦ г. Барнаула шлаковые конусы характеризуются высокими концентрациями радионуклидов, превышающие таковые в г. Бийске. Коэффициенты концентрации урана и тория в донных отложениях р. Оби в районе стока составляют в среднем 4,2 и 4,1 относительно фоновых концентраций радионуклидов, полученных в донных отложениях реки выше по течению (табл. 5).

В Бийске экологическая обстановка в районе энергетических предприятий также напряжённая. Золошлаковые отходы ТЭЦ-1 сваливаются в озеро Кругленькое, экологическое состояние которого приведено в критическое состояние. Отвал золошлакового конуса ТЭЦ-2 протяжённостью более 300 м, шириной от 60 до 110 м и высотой от 5 до 11 м сваливается в р. Бию и дренируется последней. По обеим сторонам отвала образовался заиленный лиман, сообщающийся с р. Бией. На склонах шлакового конуса расположены дома частного сектора и огороды, что весьма небезопасно для здоровья людей. Приведенные данные в табл. 5 свидетельствуют о значительно более высоких концентрациях урана и тория в глинистой фракции донных отложений всех опробованных сред сравнительно с фоновыми (10,1 для урана и 8,4 для тория). В районе ТЭЦ-2 концентрации урана и тория в донных отложениях почти в 2 раза превышают таковые в районе ТЭЦ -1. А в донных отложениях лимана вблизи ТЭЦ-2 и оз. Кругленького вблизи ТЭЦ-1 коэффициенты концентрации обоих радионуклидов максимальны (18,7, 17,4 и 11,5, 9,83, соответственно). Воды озера Кругленького имеют сообщение с водоносными горизонтами поймы р. Бии. Имеется угроза поступления с водой всего комплекса элементов, зафиксированных в донных образованиях в районе предприятий энергетики. Проведенный мониторинг экологического состояния донных отложений рек Бии и Оби в районе ТЭЦ в городах Бийске и Барнауле показал, что загрязнение илов указанных рек радионуклидами превышает много ПДК (Гусева, Гусев, 2008).

Значительная эмиссия радионуклидов в донные отложения в результате сгорания угля, вероятно, связана с тем, что происходит коренная трансформация первичного угля с образованием новых соединений и высвобождением урана и тория в свободной форме, или в виде легкорастворимых соединений, которые вступают во взаимодействие с глинистыми частицами илов донных отложений и адсорбируются последними. При этом в результате сгорания угля образуются новые соединения, не встречающиеся в природе, но весьма схожие с теми соединениями, которые входят в состав цементного клинкера (силикаты, алюмосиликаты, алюмоферриты), которые не встречаются в природе (шаннонит, ранкинит и другие). Глинистые отложения донных проб рек Оби и Бии адсорбируют весь комплекс

6. Содержания некоторых тяжёлых металлов в листьях и клубнях картофеля в районе ТЭЦ-2 (мг/кг)

Элементы	Листья		Клубни	
	Концентрации	Отношение к ПДК	Концентрации	Отношение к ПДК
Медь	23,55	2,35	28,9	2,89
Свинец	2,9	5,8	3,7	7,4
Кадмий	0,3	10,0	0,32	10,0
Никель	3,2	6,4	4,2	8,4

Примечание. Анализы выполнены количественным спектральным методом в Лаборатории ИМГРЭ (г. Москва).

элементов, помимо радионуклидов. Некоторые из них являются высокотоксичными (ртуть, кадмий, цинк и другие).

Проведена предварительная проверка влияния загрязнения окружающей среды на растения вблизи ТЭЦ-2. Опробованы листья картофеля и клубни, собранные на одном из огородов на склоне золошлакового отвала. Анализ табл. 6 показывает, что в листьях и клубнях происходит значительное накопление тяжёлых металлов, превышающее ПДК от 2,35 до 10 раз.

Проведенные исследования показывают, что в районе энергетических предприятий г. Бийска экологическое состояние среды не отвечает нормальным условиям, происходит загрязнение донных отложений реки целым рядом элементов, часть из которых является высокотоксичными. Обращает на себя внимание высокая радиоактивность золошлаковых отходов и значительная эмиссия радионуклидов в окружающую среду. Использование шлаков в качестве наполнителя бетона и использование их в строительстве небезопасно, так как высокие концентрации радионуклидов в шлаках канцерогенны.

Литература

Гусев А.И., Лихачёва С.С., Гусева О.И., Ажигулова Е.И. Экологическое состояние среды в районе табачной фабрики г. Бийска // В сб. «Алтай: экология и природопользование». Бийск, 2003, с. 313-316.

Гусев А.И. Природное загрязнение окружающей среды Горного Алтая в зоне сочленения горного сооружения и равнинной части // В сб. «Рельеф и природопользование предгорных и низкоргорных территорий». Барнаул, 2005, с. 88-90.

Гусев А.И., Русанова З.В. Техногенное загрязнение растительности г. Бийска // Материалы научно-практической конференции, посвящённой 60-летию Новосибирского геолого-разведочного техникума. Новосибирск, 2005, с. 46-50.

Гусев А.И. Геоэкологическое районирование Алтае-Саянской складчатой области по почвам // Проблемы региональной экологии, 2009.

Гусева О.И., Гусев А.И. Методика составления экологического паспорта реки // В сб. «Современные проблемы геоэкологии горных территорий». Горно-Алтайск, 2008, с. 41-45.