

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет»

На правах рукописи

Злобина Анастасия Николаевна

**ГРАНИТЫ С ПОВЫШЕННЫМ РАДИАЦИОННЫМ ФОНОМ И
НЕКОТОРЫЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В РАЙОНАХ ИХ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ**

Специальность – 25.00.36 Геоэкология (науки о Земле)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Рихванов Леонид Петрович

Томск-2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ПОВЫШЕННАЯ ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ – ПРИЧИНА ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ	12
1.1. Радиация, как фактор риска возникновения некоторых неинфекционных заболеваний.....	12
1.2. Положительное действие радиации – эффект гормезиса.....	27
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	30
2.1. Фактический материал, отбор проб	30
2.2. Лабораторно-аналитические исследования	31
2.3. Обработка данных	41
ГЛАВА 3. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	45
3.1. Район г. Белокуриха, Алтайский край, Россия	45
3.2. Район пгт. Колывань, Новосибирская область, Россия	48
3.3. Район г. Чжухай, провинция Гуандун, Китай.....	50
3.4. Район г. Эшасьер, регион Овернь, Франция	52
4. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАНИТОВ И РАЗВИТЫХ ПО НИМ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ И ПОЧВ.....	55
4.1. Общий геохимический состав гранитов, кор выветривания и почв	55
4.2. Минералогический состав гранитов, кор выветривания и почв	65
4.3. Особенности накопления и характер распределения ЕРЭ и РЗЭ по профильным разрезам	71
4.4. Сорбция U на агрегате тонкодисперсных глинистых частиц.....	78
4.5 Распределение U (Ra) в процессах выветривания – причина повышенного эманирования Rn	80
5 РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА И РАДОНООПАСНОСТЬ ИССЛЕДУЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	83
6 ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ В РАЙОНАХ С ВЫСОКОЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИАЦИОННОЙ НАГРУЗКОЙ	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	102
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	104
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	105

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Радиация — неотъемлемая составляющая окружающей среды. В любом месте на нашей планете биологические объекты испытывают влияние альфа-, бета- и гамма-радиоактивности, образующейся вследствие произвольного распада естественных (урана (U), тория (Th), радия (Ra), радона (Rn) и др.) и искусственных (цезия (Cs), стронция (Sr), америция (Am), плутония (Pu) и др.) радионуклидов. Вопрос воздействия радиации на здоровье человека состоит в уровне поглощаемой дозы, времени воздействия ионизирующих лучей на человеческий организм, а также радиочувствительности и радиорезистентности его отдельных органов и тканей.

На земном шаре существуют места с аномальным уровнем радиационного фона, обусловленным повышенной концентрацией естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) в объектах окружающей среды.

По обобщённым данным специализированных организаций (НКДАР ООН, МАГАТЭ, РОССТАТ, NRPB и др.) и учёных в сфере радиологии, радиогеохимии, радиобиохимии, радиобиологии, радиоэкологии, генетики, медицинской геологии, онкологии (Р.М. Алексахин, И.Н. Верховская, Д. Гофман, Н.П. Дубинин, Н.Н. Ильинских, Дж. Когалл, А.М. Кузин, Г.Б. Наумов, М.В. Михалев, Ю.П. Пивоваров, Л.П. Рихванов, В.Б. Шаров, В.А. Шевченко, Л.Х. Эйдус, J.E. Allen, S. Billon, B. Bolviken, M. Eizenbud, D.L. Henshaw, N. Kochupillai, E.J. Sternglass, M. Tirmarche и др.) отмечено, что ионизирующая радиация вызывает некоторые медико-биологические проблемы у населения, в основном связанные с повышенным уровнем генных, геномных и хромосомных деформаций и увеличением онкозаболеваемости.

Связь уровня естественной радиоактивности и малых доз радиации с показателями заболеваемости некоторыми неинфекционными болезнями изучена недостаточно детально. Особенно данный вопрос актуален для районов распространения высокорadioактивных пород, в том числе на территории России.

Необходимо учитывать, что риск онкозаболеваний имеет повышенный уровень у людей, подвергающихся влиянию ионизирующей радиации всех типов и при всех обстоятельствах воздействия (Bouse, 2006).

Цель работы: изучение связи минералого-геохимических особенностей высокорadioактивных пород и продуктов их выветривания с их радиоэкологическими показателями и оценка медико-биологических последствий и рисков для населения, проживающего в районах с высокой естественной радиацией.

Задачи исследования:

1. Определить вещественный состав высокорadioактивных гранитов и развивающихся по ним кор выветривания и почв, провести сравнительный анализ содержания химических элементов, в том числе ЕРЭ, в исследуемых образцах с мировыми и региональными показателями и ранжировать граниты по группам согласно радиогеохимической типизации.

2. Установить распределение U и Th по профилю «исходная порода – кора выветривания – почва», выявить распределение элементов по гранулометрическим фракциям кор выветривания и почв и установить закономерности изменения форм нахождения естественных радионуклидов в процессах выветривания гранитов и почвообразования.

3. Определить динамику объёмной активности Rn (ОАР) в процессах выветривания высокорadioактивных пород, выявить основные горизонты-генераторы свободного Rn в атмосферу и рассчитать плотность потока Rn (ППР).

4. Обобщить данные по радиоактивности подземных вод, уровням мощности экспозиционной дозы (МЭД) и эквивалентной эффективной дозы (ЭЭД).

5. Собрать и обработать данные по уровню врождённых пороков развития плода (ВПР), заболеваемости населения злокачественными новообразованиями (ЗНО) и анемиями в исследуемых районах.

6. Установить возможную связь заболеваемости населения ВПР, ЗНО и анемиями от повышенных концентраций ЕРЭ в породах и почвах, радоно- и

тороновыделения и радиационного фона и выявить территории риска по уровню ВПР и заболеваемости населения раком лёгкого, носоглотки, кроветворной ткани, анемиями.

Объектом данного исследования является радиоэкологическая и медико-биологическая ситуация в районах распространения высокорadioактивных гранитов (г. Белокуриха Алтайского края, пгт. Колывань Новосибирской области в России, г. Чжухай провинции Гуандун в Китае, г. Эшасьер региона Овернь во Франции).

Предмет исследования – связь уровня ВПР, заболеваемости населения ЗНО лёгкого, носоглотки, кроветворной ткани и анемиями с радиоэкологическими показателями в районах распространения высокорadioактивных пород и почв.

Фактический материал и методы исследования:

Работы по отбору проб и измерениям радиоэкологических показателей проводились в период с 2011 по 2018 гг. на территориях г. Белокуриха Алтайского края и пгт. Колывань Новосибирской области в РФ, г. Эшасьер в регионе Овернь во Франции, а также г. Чжухай в провинции Гуандун в Китае совместно с коллегами из Китайского геологического университета. Материалы исследований были отобраны, подготовлены и обработаны лично автором. Общее количество отобранных образцов пород, кор выветривания, почв и измерений – 90. Методами рентгенофазового анализа исследовано 40 проб, сканирующей электронной микроскопии – 77.

Отбор проб природных сред и пробоподготовка к анализам осуществлялась в соответствии с ГОСТами 17.4.1.03-83 и 6613-79, гамма-спектрометрические измерения – с методическими указаниями по идентификации радионуклидов (Карелин, 2011). Измерения ОАР и расчёт ППР базировались на методических указаниях МУ 2.6.5.009-2016.

Для получения радиоэкологических характеристик территорий непосредственно в полевых условиях в точках отбора проб (граниты, коры выветривания, почвы) производились гамма-спектрометрический анализ

приборами SatisGeo GS-512 и радонометрия с помощью прибора «Альфарад» марки PPA-01M-01.

Показатели заболеваемости населения Белокурихи за 2014–2016 гг. были взяты в центральной городской больнице г. Белокуриха, показатели заболеваемости населения Колывани за 2011–2016 гг. – в Колыванской центральной районной больнице. Медико-статистические данные по остальным районам исследования были взяты из опубликованных работ российских и зарубежных авторов, а также из государственных докладов о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения исследуемых районов.

Для минералого-геохимических исследований образцов гранитов, кор выветривания и почв были использованы аттестованные методики в аккредитованных лабораториях: инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА) и осколочная радиография на исследовательском реакторе ИРТ-Т в ядерно-геохимической лаборатории ИШПР ТПУ, метод фракционирования минералов, рентгенофазовый анализ (РФА) и сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) в международном инновационном научно-образовательном центре «Урановая геология» ИШПР ТПУ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Исследуемые граниты отличаются повышенной концентрацией естественных радионуклидов и относятся к различным радиогеохимическим типам: граниты Белокурихинского (К – 6,5 %, Th – 21,1 г/т, U – 6,4 г/т, Th/U – 3,3) и Колыванского (К – 6 %, Th – 34 г/т, U – 9,6 г/т, Th/U – 3,5) комплексов относятся к высокорadioактивным редкометалльным; граниты Чжухая в провинции Гуандун, Китай (К – 4 %, Th – 100 г/т, U – 26,1 г/т, Th/U – 3,8) – к высокорadioактивным ториевым; граниты Бувуар в регионе Овернь, Франция (К – 3,7 %, Th – 1 г/т, U – 18 г/т, Th/U – 0,1) – к высокорadioактивным существенно ураноносным, испытавшим глубокие метасоматические преобразования. Общей особенностью изучаемых гранитов является большое количество акцессорных минералов: монацит, циркон и др., содержащих U и Th.

2. Образующиеся в процессах выветривания гранитов коры выветривания и почвы наследуют радиогеохимические особенности пород, происходит формирование горизонтов, обогащённых естественными радионуклидами. Основная аккумуляция U и Th в данных зонах происходит в тонкодисперсных фракциях (0,04–0,01 мм; <0,01 мм). U находится преимущественно в сорбированной форме на глинистых минералах (каолинит, монтмориллонит и др.). Данные процессы способствуют повышению радоно- и торонотделения и образованию горизонтов-генераторов свободного Rn в атмосферу.

3. Установленные высокие концентрации U и Th в породах и почвах, повышенная плотность потока Rn и объемная активность Rn (в районе Белокурихи – 0,08–120 кБк/м³, в районе Колывани – 0,09–1570 кБк/м³, в районе Чжухая – 0,02–1000 кБк/м³, в районе Эшасьер – 0,02–70 кБк/м³) обуславливают напряжённую радиоэкологическую обстановку и ухудшение эпидемиологического статуса населения исследуемых территорий по таким медико-статистическим параметрам, как повышенный уровень врождённых пороков развития плода (300–1129 ‰) и заболеваемости злокачественными новообразованиями лёгкого (33–352 ‰), носоглотки (4–25 ‰), кроветворной ткани (6–216 ‰) относительно мировых и российских показателей.

Научная новизна:

1. Впервые изучено распределение ЕРЭ по профилю «исходная порода – кора выветривания – почва» в районах г. Белокуриха Алтайского края, пгт. Колывань Новосибирской области, г. Чжухай провинции Гуандун и г. Эшасьер региона Овернь.

2. Выявлено накопление радиоактивных и редкоземельных элементов в тонкодисперсных фракциях кор выветривания и почв. Методом осколочной радиографии изучены формы нахождения U в образцах кор выветривания и почв. Определено, что U находится преимущественно в сорбированной форме на глинистых минералах (каолинит, монтмориллонит и др.).

3. Определены горизонты накопления ЕРЭ в корах выветривания – зоны дресвы и глины. Данные горизонты являются основными горизонтами-генераторами свободного Rn.

4. В исследуемых районах выявлена напряжённая радиоэкологическая обстановка, связанная с распространением высокорadioактивных гранитов; зонами интенсивного выветривания гранитов, что способствует образованию горизонтов-генераторов свободного Rn в атмосферу; зонами повышенной эксхалации и эманирования ^{222}Rn ; высокой активностью торона (^{220}Rn) за счёт распространения ториеносных пород; повышенным содержанием Ra и Rn в подземных водах; использованием местных строительных материалов с повышенной концентрацией ЕРЭ; значениями МЭД и ЭЭД, превышающими норму НКДАР ООН.

5. Установлена эмпирическая зависимость заболеваемости населения ЗНО лёгкого, носоглотки, кроветворной ткани и ВПР от радиоэкологической обстановки в исследуемых районах.

Практическая значимость:

Установлено, что в районах распространения радиоактивных пород наблюдаются высокие показатели онкологической заболеваемости и ВПР. Выделены территории риска по частоте заболеваемости ЗНО всех видов у детей (Белокуриха и Колывань), ЗНО лёгкого (Колывань) у всего населения, ЗНО носоглотки (провинция Гуандун), ЗНО кроветворной ткани (Колывань). Высокий риск ВПР отмечен в Колывани и Гуандун.

Даны краткие рекомендации по учёту воздействия радиационных рисков от естественных источников (концентрации ЕРЭ в породах, почве, воде и уровень ^{222}Rn , ^{220}Rn) при оценке санитарно-эпидемиологического статуса населения.

Материалы, полученные в процессе выполнения работы, использованы при проведении занятий по курсам «Геохимия» на кафедре геологии и полезных ископаемых Башкирского государственного университета, «Геоэкология» и «Медицинская геология» в отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета.

Степень достоверности защищаемых положений обеспечена достаточным количеством измерений и проб, исследованных различными высокочувствительными аттестованными аналитическими методами в аккредитованных лабораториях. Также глубокий анализ научной литературы, в том числе зарубежной (на английском, французском, китайском языках) по теме исследования позволяет судить о высокой степени достоверности данной работы.

Интерпретация аналитических данных произведена с использованием современных программных пакетов «Microsoft Office» и «StatSoft® Statistica 10.0.1011.0», построение графиков и карт выполнено с помощью программ «Corel Draw» и «Microsoft Excel».

Апробация результатов и публикации:

Результаты работы по теме диссертации были представлены на Международных и Всероссийских научно-практических конференциях: European Geosciences Union General Assembly (2012 Vienna, Austria); 2nd Global Soil Security Conference (2016, Paris, France); V International Conference «Radioactivity and radioactive elements in environment» (2016, Tomsk, Russia); IV International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research (2016, Nis, Serbia); 7th International Conference on Medical Geology (2017, Moscow, Russia); Всероссийская конференция с международным участием, посвящённая 60-летию Института геохимии СО РАН и 100-летию со дня рождения академика Л. В. Таусона «Современные направления развития геохимии» (2016, Иркутск); Международный научный симпозиум студентов, аспирантов и молодых учёных им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (2011-2019 гг., Томск) и др.

По теме диссертации опубликовано 27 работ, из них 2 статьи в российских изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и 2 статьи, индексируемые международными базами данных (Web of Science, Scopus).

Личный вклад автора заключается в непосредственном участии на всех этапах исследовательской работы: отборе проб и пробоподготовке к анализам, проведении измерений методами полевой гамма-спектрометрии и радонометрии.

Автор самостоятельно осуществлял исследования проб пород и почв с помощью СЭМ и РФА. Поиск медико-статистических данных, обработка, интерпретация результатов анализов, построение графического материала и формулировка защищаемых положений также производилась лично автором.

Благодарности:

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук, профессору ИШПР ТПУ Леониду Петровичу Рихванову за научное и образовательное сопровождение и значительную помощь в написании диссертации.

Особую благодарность автор выражает своим научным наставникам: д.б.н., профессору ИШПР ТПУ Н.В. Барановской, заведующему кафедрой геологии и полезных ископаемых БашГУ, к.г.-м.н. И.М. Фархутдинову и д.н., профессору кафедры геофизики Китайского геологического университета Нанпинг Ван.

За поддержку при написании диссертации, ценные советы и консультации автор признателен д.г.-м.н., профессорам С.И. Арбузову, Е.Г. Язикову, д.м.н., профессору Л.М. Фархутдиновой, к.г.-м.н. С.С. Ильенку, Б.Р. Соктоеву, В.А. Домаренко, И.С. Соболеву, Д.В. Юсупову, А.В. Таловской, Е.А. Филимоненко, Ш.Ж. Арыновой, Т.А. Перминовой, А.С. Торопову, к.х.н. Н.А. Осиповой и аспирантам А.И. Беляновской, М.А. Дериглазовой, Д.Н. Галушкиной и Г.М. Есильканову.

Автор благодарит аналитиков за их профессиональный труд: с.н.с А.Ф. Судыко и Л.В. Богутскую.

За помощь при отборе проб и материала для диссертации огромную благодарность автор выражает начальнику ГГРЭС в г. Белокуриха А.А. Редину, онкологу городской больницы г. Белокуриха О.В. Крыжко, сотрудникам музея г. Белокуриха Т.А. Батуевой и Е.П. Жилинской, к.м.н., главному специалисту-эксперту отдела санитарного надзора Управления Роспотребнадзора по Смоленской области В.В. Турбинскому, к.м.н. В.П. Суслину и сотрудникам отдела мониторинга радиационной обстановки ОГБУ "Облкомприрода" Томской области – В.А. Коняшкину и др.

Автор признателен за ценные замечания, высказанные в процессе обсуждения устных докладов на конференциях: д.г.-м.н. Г.Б. Наумову (ГЕОХИ РАН), д.г.-м.н. В.Д. Страховенко (ИГМ СО РАН), д.б.н. С. А. Васильеву (НИИ медицинской генетики Томского НИМЦ), д.б.н. А. Я. Болсуновскому (Институт биофизики СО РАН) и профессору Р. Финкельману (University of Texas at Dallas).

Структура и объем работы:

Диссертационная работа представлена на 122 страницах и состоит из введения, 6 глав и заключения. Список литературы включает 164 источника, 83 из которых зарубежные. Диссертация включает 51 рисунок и 13 таблиц.

Основное содержание работы:

Глава 1 посвящена вопросам влияния естественной радиоактивности и малых доз радиации на организм человека. Рассмотрены как негативные последствия, так и положительное действие радиации. **Глава 2** включает описание материалов и методов исследования: отбор проб, лабораторно-аналитические исследования и статистическую обработку данных. **Глава 3** характеризует природно-климатические и геологические условия районов исследования. В **главе 4** описаны общие геохимические и минералогические особенности гранитов и развитых по ним кор выветривания и почв, а также особенности накопления и характер распределения Th и U по профильным разрезам. Рассмотрен вопрос распределения ЕРЭ по гранулометрическим фракциям кор выветривания и почв. Определены формы нахождения радионуклидов в процессах выветривания гранитов. **Глава 5** отражает радиоэкологическую обстановку и вопросы радоноопасности исследуемых территорий. **Глава 6** содержит анализ показателей заболеваемости населения ВПР, ЗНО и анемиями в районах с высокой естественной радиационной нагрузкой. В **заключении** представлены основные выводы по работе.

ГЛАВА 1. ПОВЫШЕННАЯ ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ – ПРИЧИНА ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

1.1. Радиация, как фактор риска возникновения некоторых неинфекционных заболеваний

Естественный радиационный фон Земли складывается из двух основных источников: космического излучения и содержания ЕРЭ в горных породах, почвах, воде и воздухе.

На земном шаре существуют места с аномальным уровнем радиационного фона, обусловленным повышенной концентрацией ЕРЭ в объектах окружающей среды (рисунок 1.1). К ним относятся: прибрежные монацитовые пески штата Керала в Индии (Derin et al., 2012; Manigandan et al., 2014), штата Минас-Жерас в Бразилии (Veiga et al., 2006), пески Приазовья (Украина) (Гусева, 2003), южные провинции Китая (Wang et al., 2005; Li et al., 2012), регионы Овернь и Бретань во Франции (Cuney, 1992; Geochemical Atlas, 2015), остров Ньюэ (Dickson, 1992), радиоактивные воды Рамсара в Иране (Mortazavi et al., 2011), Жамбылская (Джамбульская) область в Казахстане, где локализованы месторождения урана, южные районы Норвегии, Швеции и Финляндии с залежами черных сланцев и др. В России также существуют регионы, в которых распространены высокорadioактивные геологические образования: гранитные комплексы в Алтайском крае и Новосибирской области, Забайкальская ураноносная провинция (Uiba et al., 2009), радиоактивные фосфориты на Кольском полуострове и др.

В таких районах наблюдаются медико-биологические проблемы, связанные с воздействием радиации на организм человека, его отдельные органы, ткани и ДНК (Шаров, 1993; Шевченко, 1985; Kochupillai, 1976; Bolviken, 2001; Henshaw et al., 2002 и др.).

В данной работе будет рассмотрено воздействие от излучения U, Th, Ra, Rn и их ДПР из объектов окружающей среды (породы, коры выветривания, почвы, вода, атмосферный воздух) на показатели заболеваемости некоторыми неинфекционными заболеваниями: различными видами ЗНО, анемиями, ВПР.

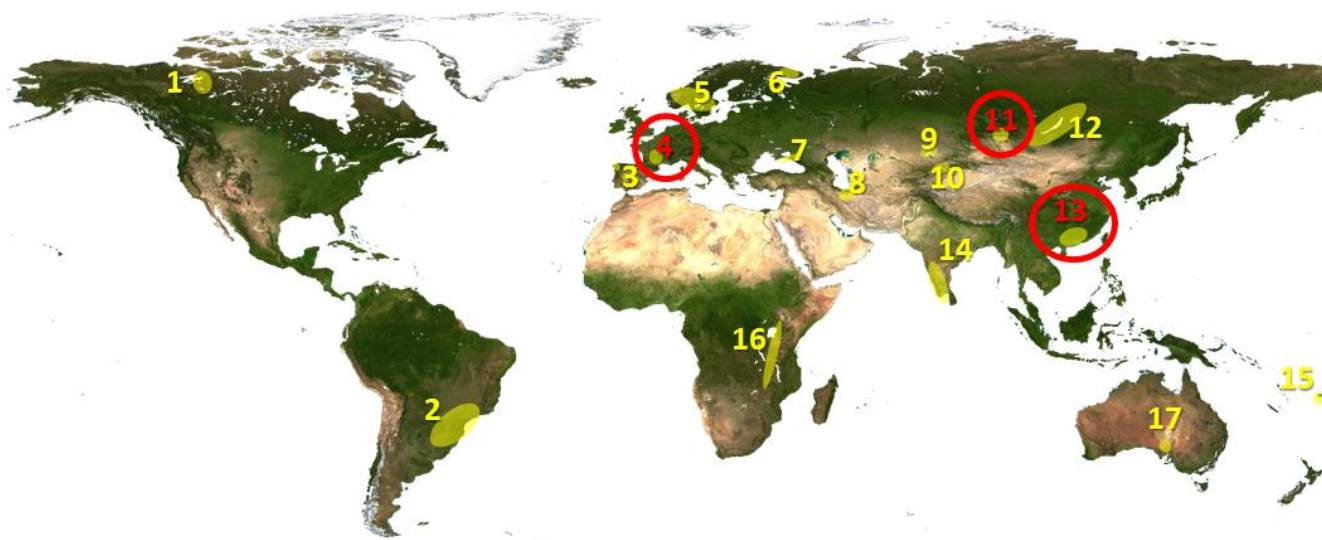


Рисунок 1.1 – Карта районов с повышенным естественным радиационным фоном. Красным отмечены районы исследования.

1 – Порт Радиум (Port-Radium), Канада, месторождение урана «Эльдорадо»; 2 – Штат Минас-Жерас (Minas- Gerais), Бразилия, монацитовые пески; 3 – регионы Галиция и Эстремадура (Galicia and Extremadura), Испания, залежи гранитов; 4 – регионы Овернь и Бретань (Auvergne and Bretagne), Франция, залежи гранитов; 5 – южные районы Норвегии, Швеции и Финляндии, залежи черных сланцев; 6 – Кольский полуостров, Россия, залежи фосфоритов; 7 – побережье Азовского моря, Украина, монацитовые пески; 8 – Рамсар (Ramzar), Иран, радоновые воды; 9 – Жамбылская (Джамбульская) область, Казахстан, месторождения урана; 10 – район озера Иссык-Куль, Кыргызстан, месторождения урана; 11 – Алтайский край, район г. Белокуриха и Новосибирская область, г. Новосибирск, пгт. Колывань, залежи гранитов; 12 – Забайкальский край, ураноносная провинция, залежи гранитов; 13 – южно-китайские провинции, в том числе Гуандун (Guangdong), залежи ториеносных гранитов; 14 – штат Керала (Kerala), Индия, монацитовые пески; 15 – остров Ниуэ, почвы с высоким содержанием U; 16 – Великая рифтовая долина (Great Rift Valley), Африка, высокая объемная активность Rn; 17 – Горячие источники Паралана (Paralana Radioactive Hot Springs), Австралия, высокорadioактивные подземные воды

Ионизирующая радиация – доказанный фактор риска злокачественных опухолей. Выявлено, что риск заболеваемости, связанный с радиацией, зависит от

дозы облучения и времени воздействия радиоактивного источника, также от индивидуальной радиорезистентности и радиочувствительности организма.

Негативное влияние высоких доз радиации на организм человека является достаточно изученным и доказанным (UNSCEAR, 1993; UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2009). Проблема воздействия малых доз радиации актуальна и требует детальных исследований. Последние работы показывают, что при малых дозах может наблюдаться возрастание чувствительности организмов к облучению (Яблоков, 2015; Литтл, 2007; Эйдуз, 2001; Гераськин, 1995 и др.).

При воздействии любых по интенсивности доз радиации на органы происходит возбуждение и ионизация молекул, в результате чего возникают свободные радикалы (прямое действие излучения) или начинается химическое превращение (радиолиз) воды, продукты которого (радикал $\text{OH}\cdot$, перекись водорода H_2O_2 и др.) вступают в химическую реакцию с молекулами биологической системы. В результате этих процессов происходит обширное повреждение мембран, органелл, ДНК клетки. Это приводит к мутациям, обуславливающим бесконтрольное деление клеток с развитием злокачественной опухоли. (UNSCEAR, 1993; UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2009; Wei et al., 1990; Cooper, 1997; Бурлакова, 1957; Эйдуз, 2001; Стернгласс, 1982; Nambi et al., 1987; Баженов и др., 1990; Sternglass, 1982 и др.).

Более того радиационные сигналы могут передаваться от облучённых клеток к необлучённым, в которых возможны те же биологические эффекты (рисунок 1.2). Такие клетки называются «клетками-свидетелями», а сам эффект – «эффект свидетеля» («bystander effects»). Данный процесс может быть причиной онкогенных трансформаций и гибели клеток (Mothersill, 2007; Литтл, 2007; Котеров, 2011; Казначеев, 1981 и др.). Замечено, что эффект свидетеля чаще проявляется при воздействии газа Rn и космического излучения (Литтл, 2007).

Согласно оценке НКДАР ООН, не существует порогового значения доз радиации, излучения любого типа и интенсивности могут послужить причиной повреждений ДНК. Рак является наиболее распространённым последствием облучения человека малыми дозами (UNSCEAR, 2009; Boyce, 2006).

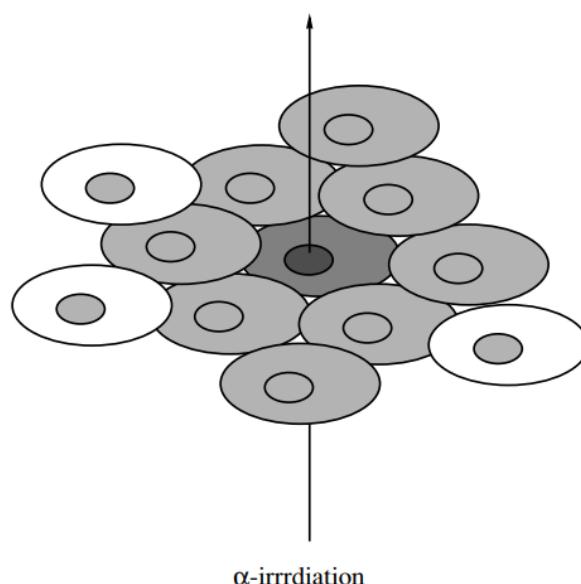


Рисунок 1.2 – Модель радиационно-индуцированного эффекта свидетеля в монослойных культурах, подвергнутых облучению при очень низких флюенсах альфа-частиц. Альфа-частица проходит через ядро темной клетки, но биологические эффекты наблюдаются в окружающих ее клетках-свидетелях (Литтл, 2007)

Период между получением дозы и образованием рака называют латентным. Это довольно длительный процесс, занимающий от 2 до 20 лет (Михнев, 2000).

Латентный период зависит от вида рака, интенсивности облучения, изначального состояния организма, индивидуальной радиорезистентности и др.

На сегодняшний день рентгеновское и гамма-излучение включены в группу канцерогенов 1 категории МАИР. В эту группу входят факторы, для которых существуют достоверные сведения об опасности для человека.

В «Атласе современной онкологии» отмечено, что ионизирующее излучение может быть фактором риска без специфической локализации, то есть иметь отрицательное воздействие на весь организм. В то же время рентгеновское и гамма-излучение имеют 14 мест локализации по органам: мозг и центральная нервная система, полость рта и глотка, лёгкое, щитовидная железа, гемопоэтическая система, кожа, скелет, молочная железа, пищевод, желудок, толстая и прямая кишка, почка и мочевой пузырь (Jemal et al., 2014).

Согласно Национальному радиологическому совету по защите (National Radiological Protection Board) в средней годовой дозе облучения от естественных источников в большинстве стран основным дозообразующим фактором, вносящим более 80 %, является Rn (рисунок 1.3). Особенно высокий вклад Rn отмечается для Скандинавских стран (Финляндия, Швеция), Франции и др. Исключением является Австралия, для которой характерно преобладание внешнего фактора облучения (gamma outdoors) за счет повышенной космической активности.

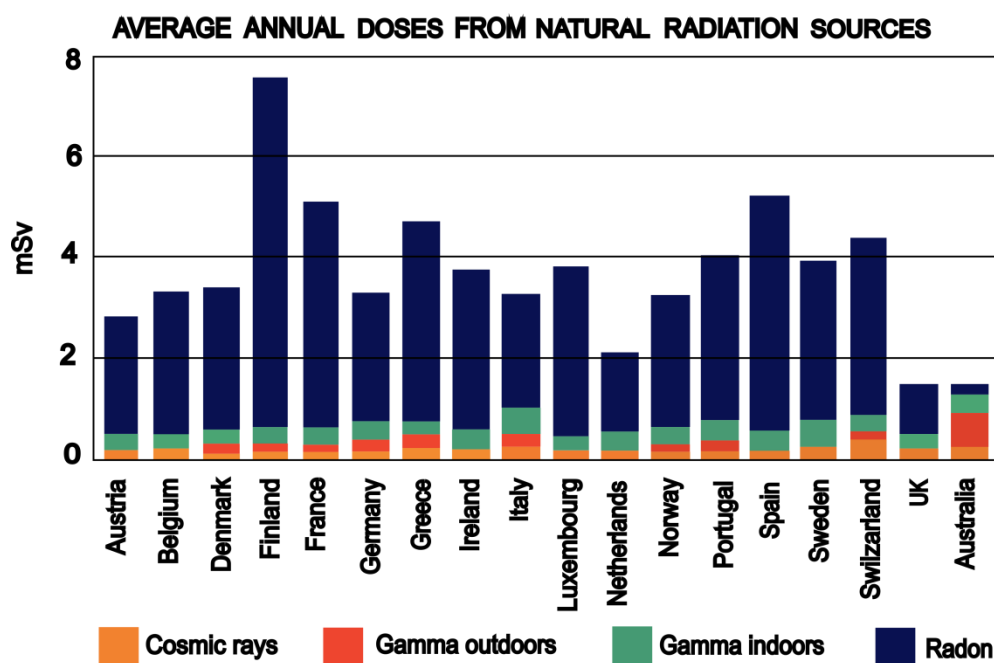


Рисунок 1.3 – Средняя годовая доза облучения от естественных радиоактивных источников. Данные по европейским странам – NRPB, по Австралии – ARPANSA

Газ Rn был открыт в 1900 году, однако последствия воздействия этого газа были известны ещё со времён средних веков. У горняков Чехии и Германии от длительных работ в шахтах по добыче серебра возникала болезнь «горных духов» или «горная чахотка». Позже выяснилось, что высокая активность Rn может быть причиной повышенной заболеваемости и смертности у шахтеров от ЗНО лёгкого (Howe et al., 1987; Eidemuller et al., 2012).

Многолетние исследования ООН НКДАР (UNSCEAR, 1993; UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2009) показывают чёткую зависимость заболеваемости раком

лёгкого от повышения концентраций вдыхаемого Rn, особенно для рабочих горно-промышленных предприятий (рисунок 1.4).

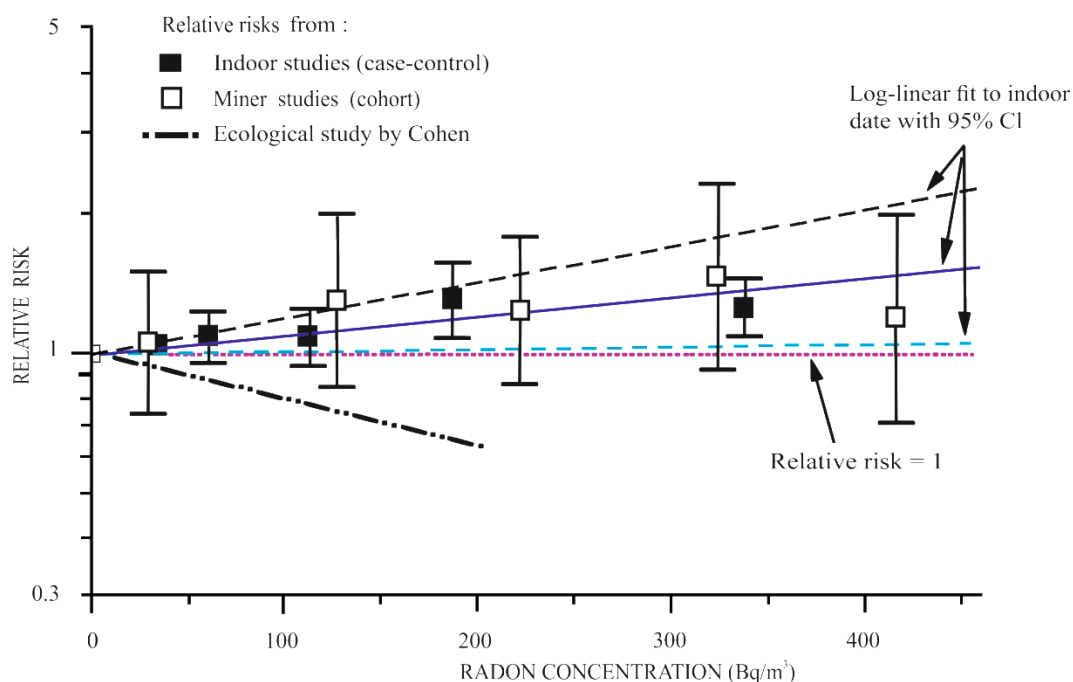


Рисунок 1.4 – Зависимость относительного риска заболеваемости ЗНО лёгкого от концентраций Rn (Бк/м³) (UNSCEAR, 2009)

По данным исследования «Uminers+Animal data project» и «Alpha risk project» (рисунок 1.5) у вдыхающих Rn людей и при этом выкуривающих 15–24 сигарет в день, риск заболеваемости ЗНО лёгкого увеличивается более чем в 50 раз, по сравнению с некурящими, но имеющими дело с высокими концентрациями Rn и продуктами его распада (Tirmarche, 2015).

Высокий уровень Rn в жилых помещениях опасен для здоровья населения (Рихванов, 1997; Rikhvanov, 2009). В России процент зданий с показателями ОАР, превышающими референтный уровень в 300 Бк/м³, составляет более 1,3 % (Ярмошенко, 2017). Причиной высокой активности Rn в зданиях чаще всего является их нахождение в пределах зон с высоким геогенным радоновым потенциалом, реже – использование строительных материалов, содержащих ЕРЭ. Вклад Rn в смертность населения России от рака лёгкого составляет от 7 до 14 % в зависимости от регионов (Жуковский и др., 2011).

Комитет по влиянию Rn на здоровье населения академии наук США отмечает, что Rn вызывает развитие 15 000–20 000 случаев ЗНО лёгкого (10–12 %

от всех случаев), причём 2 000–3 000 из них развивается у некурящих лиц (Health effects, 1999).

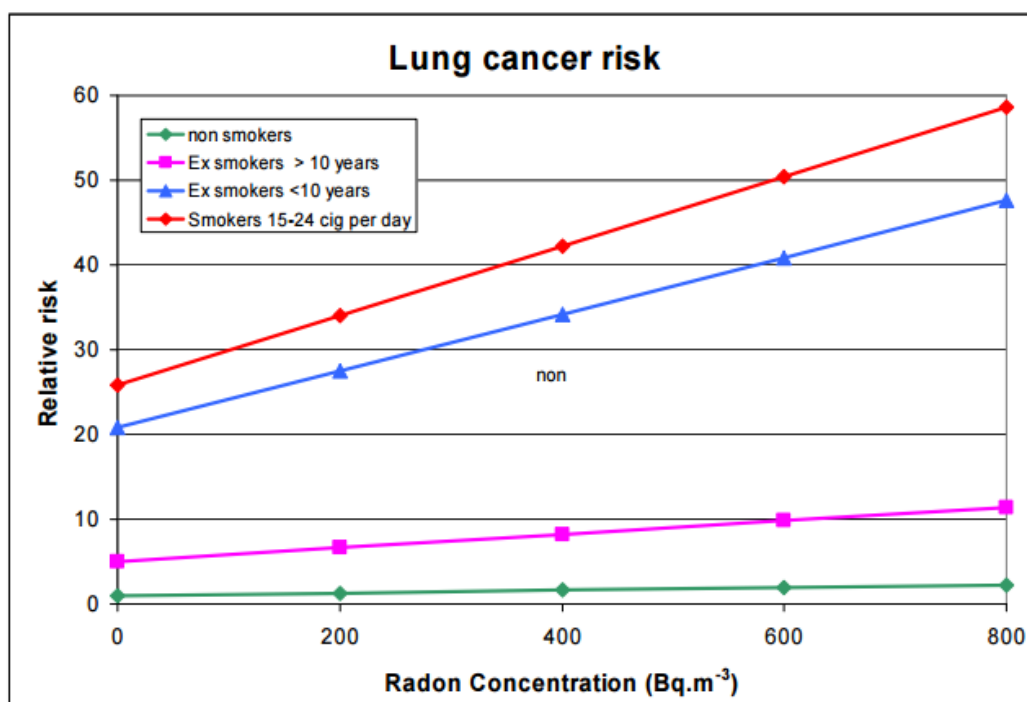


Рисунок 1.5 – Зависимость относительного риска заболеваемости раком лёгкого для некурящих, курящих менее 10 лет, курящих более 10 лет и выкуривающих 15-24 сигарет в день от концентраций Rn (Бк/м³) (Tirmarche, 2015)

Мелкоклеточный рак лёгких, является плохо прогнозируемым, гистологическим типом рака лёгких, наиболее тесно связанным с бытовым Rn. Многолетние исследования выявили развитие такого типа ЗНО лёгкого у разных групп населения (не курящие, женщины, дети и др.) во многих странах (Rodríguez-Martínez et al., 2018; Darby et al., 2005).

В целом, процессы взаимодействия ионизирующего излучения с веществом в живых организмах приводят к специфическому биологическому действию, завершающемуся повреждением многих органов (UNSCEAR, 1993; UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2009).

Радияция обуславливает гипоплазию костного мозга. В основе гипоплазии кроветворной ткани лежат необратимое повреждение и гибель стволовых клеток, вплоть до их полного исчезновения, наблюдающегося при аплазии. Это может

привести к развитию гипо- или апластических анемий и ЗНО кроветворной ткани (лейкоз/лейкемия и др.).

В Южной Африке из-за высоких концентраций U в питьевых водах и мясе сельскохозяйственных животных, в частности в баранине, наблюдается повышенный риск заболеваемости лейкемией, особенно у детей. Причем, отмечается, что большую опасность несет загрязнение питьевых вод, нежели продуктов питания (Winde et al., 2017).

Доказана положительная корреляция между активностями Rn в воздухе помещений и заболеваемостью лейкемией у детей в разных странах (рисунок 1.6) (Henshaw et al., 2002).

Анализ графика показывает повышенный уровень заболеваемости в Швеции, Финляндии, Норвегии и др. Доказано, что страны Скандинавии характеризуются повышенными дозовыми нагрузками и фоновыми концентрациями Rn как в воздухе, так и в воде (Kheifets et al., 2017; Komperød et al., 2015).

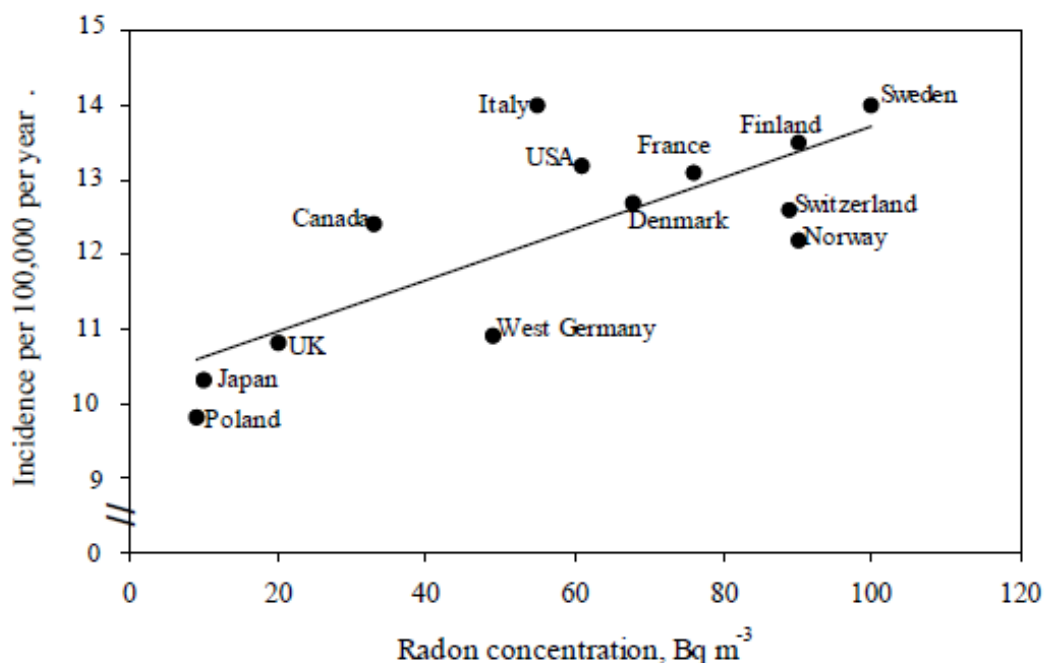


Рисунок 1.6 – Зависимость случаев заболеваемости лейкемией у детей на 100 тыс. населения в год от активности Rn (Бк/м³) в жилых помещениях (Henshaw et al., 2002)

Увеличение смертности от лейкозов у всех возрастных групп населения установлено в тех регионах Франции, где наблюдается повышенные эманации Rn (Atlas de la mortalité, 2012; Billon et al., 2005). Например, в пределах региона Овернь, где расположены урансодержащие граниты типа «Бовуар». В результате процессов корообразования на этих гранитах формируются почвы и инфильтруются подземные воды, наследующие ЕРЭ, что приводит к высоким концентрациям Rn – до 300 Бк/м³ (рисунок 1.7).

Аналогичная связь установлена между распределением уровней радоновыделений (Generalized, 2016) и смертности от лейкемии за 1970-2004 гг. на территории США (U.S. Atlas, 2016) (рисунок 1.8). Максимальные показатели смертности от лейкемии проявляются в зонах высокой альфа-активности в воде (> 4 пКи/л). Именно этот уровень принят за пороговое значение для расчета негативных последствий для здоровья человека. Особенно выделяются северные и северо-восточные штаты страны.

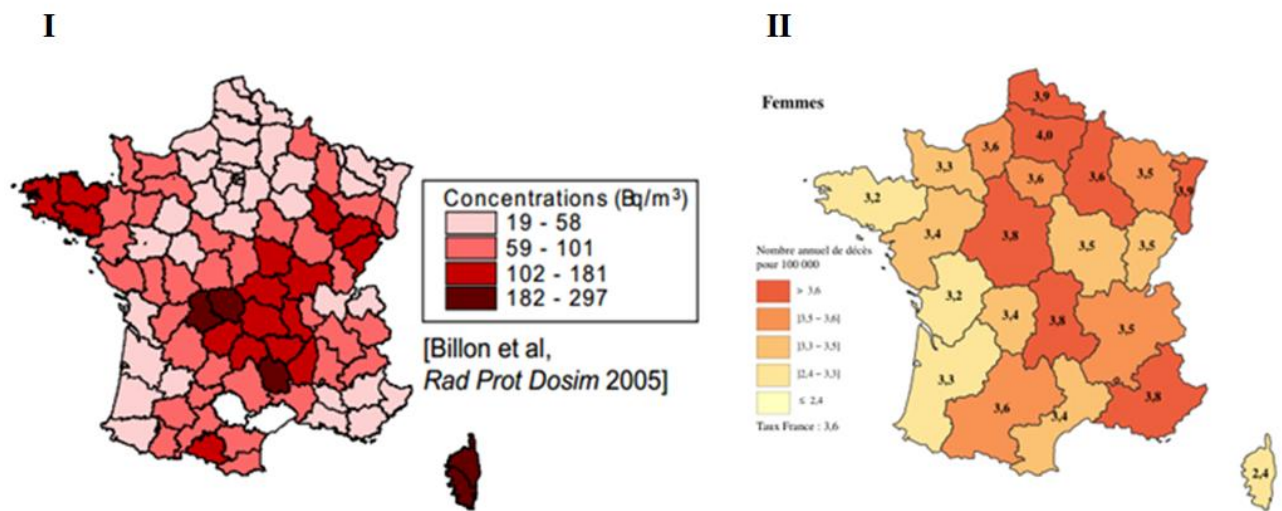


Рисунок 1.7 – Карта распределения активностей Rn на территории Франции (I) (Billon et al., 2005), карта распределения стандартизированных показатели смертности от всех видов лейкозов у женщин на территории Франции (II) (Atlas de la mortalité, 2012)

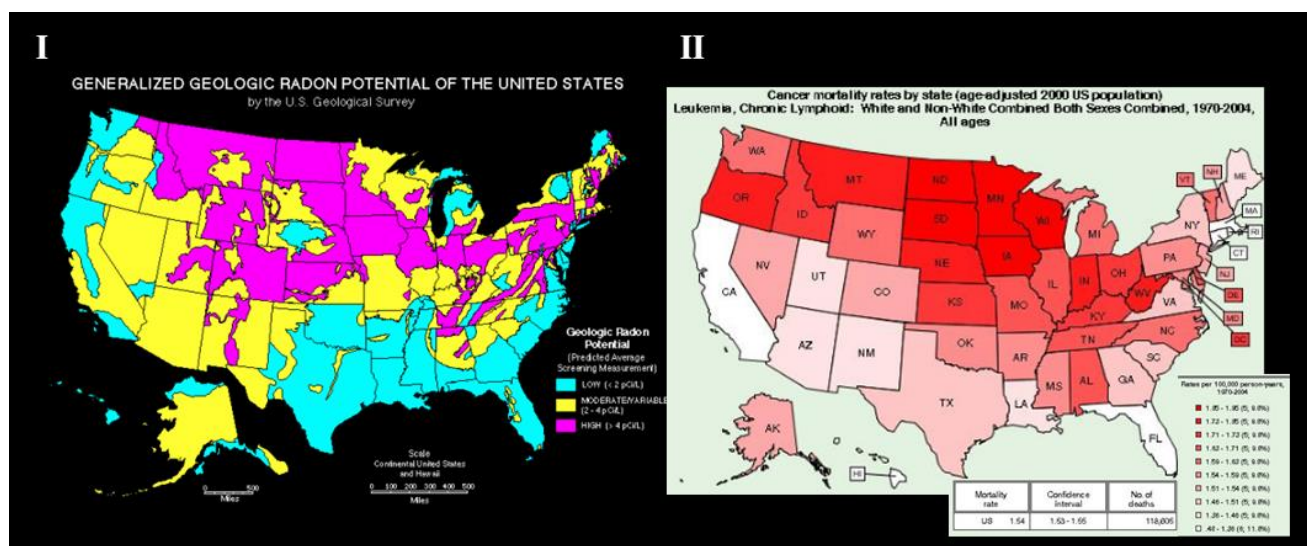


Рисунок 1.8 – Карта распределения потенциальных рисков от активностей Rn на территории США (I) (Generalized, 2016), карта распределения стандартизированных показатели смертности от лейкозов для обоих полов за 1970-2004 гг. на территории США (II) (U.S. Atlas, 2016)

В целом, на долю облучения от естественных радиоактивных источников приходится 5 % случаев заболеваемости от всех видов лейкозов как для детей, так и для взрослых (Pui, 2012).

Многими исследователями подтверждено, что дети более чувствительны к ионизирующей радиации, чем взрослые (UNSCEAR, 1993; UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2009). Анализ показателей заболеваемости ЗНО среди детского населения Франции показал, что наиболее высокие уровни наблюдаются в регионах с высокой дозовой нагрузкой и ОАР (рисунок 1.9).

Установлено, что в районах распространения пород с высокой концентрацией ЕРЭ также отмечается повышенная заболеваемость раком носоглотки. В целом, этиология ЗНО носоглотки связана с тремя основными компонентами: 1) генетической предрасположенностью, 2) вирусом Эпштейна-Барра, 3) повышенным содержанием ЕРЭ в окружающей среде. Прямая канцерогенность Rn известна, но возможность активации вируса естественной ионизирующей радиацией следует изучать (Сао, 2011 и др.).

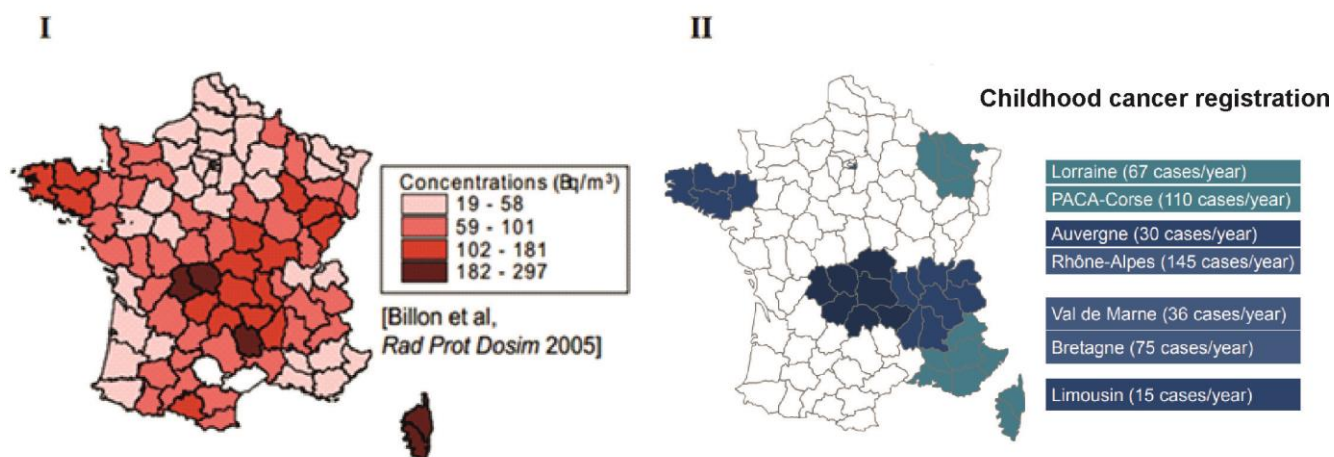


Рисунок 1.9 – Карта распределения активностей Rn на территории Франции (I) (Billon et al., 2005), карта распределения случаев заболеваемости ЗНО всех видов у детского населения на территории Франции (II) (Clavel, 2013)

Сопоставление карт распределения смертности от рака носоглотки в Китайской народной республике (КНР) за 1973–1975 гг. и распределения концентраций U и Th в почвах (горизонт В) на территории КНР выявило зависимость смертности от ЗНО носоглотки с повышенным содержанием радионуклидов в почвах (рисунок 1.10) (Bolviken, 2001).

Самый высокий уровень смертности от ЗНО носоглотки в мире выявлен именно в южных районах Китая. Заболеваемость в провинции Гаундун колеблется от 11–25 случаев на 100 тыс. населения, тогда как в Европейских странах не превышает 4 случая, а в мире – 2 случая на 100 тыс. населения (Ню, 2017; Meng et al., 2016).

Другим примером онкопатологии, вызванной воздействием Rn, является рак мозга. Исследования, проведенные в радоноопасном районе Галисия в Испании за период 1999–2008 гг. показывают связь между активностями Rn в жилых помещениях и риском смертности от рака мозга, отмечая, что корреляционные связи выше у женщин (В) (рисунок 1.11). По данным исследования, особенно часто от ЗНО мозга в Галисии умирают пожилые домохозяйки, являясь наименее мобильной и чаще вдыхающей Rn группой населения в изучаемом районе (Ruano-Ravina et al., 2017).

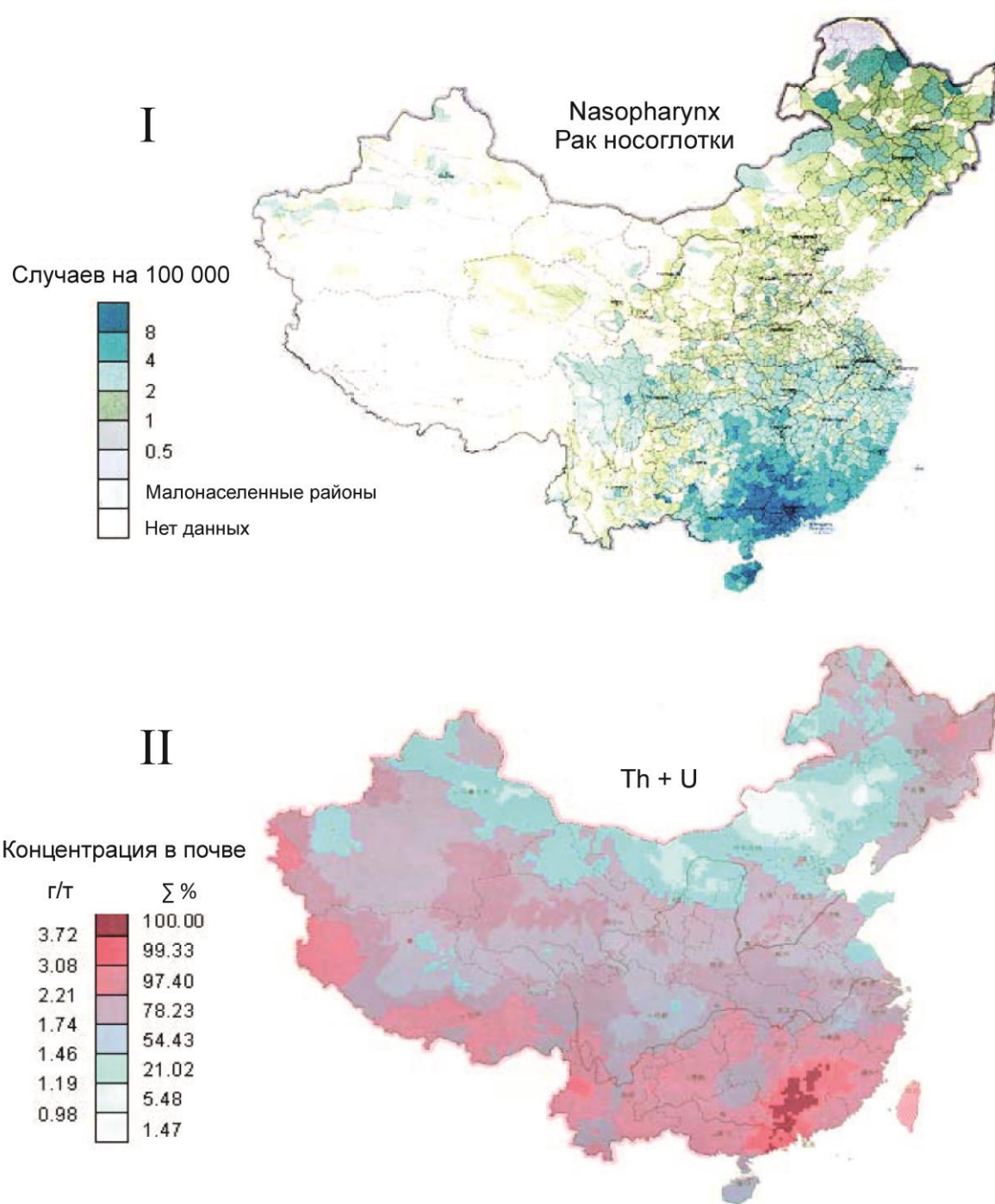


Рисунок 1.10 – Карта распределения смертности от рака носоглотки в КНР на 100000 чел 1973-1975 гг. (I), карта распределения концентраций урана и тория в почве (горизонт В) на территории КНР в мг/кг (II) (Bolviken, 2001), перевод автора

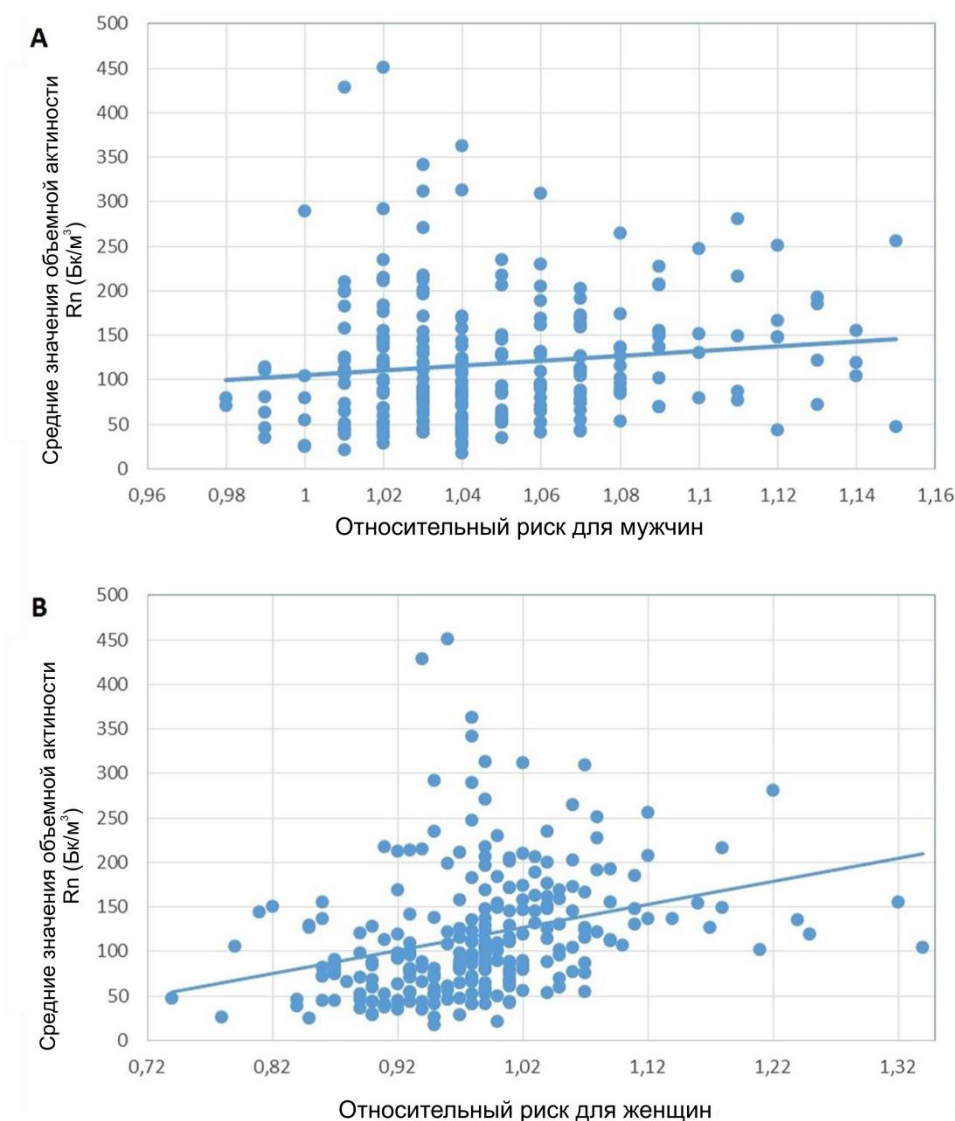


Рисунок 1.11 – График связи между объёмной активностью Rn и относительным риском смертности от рака головного мозга у мужчин (A) и у женщин (B) (Ruano-Ravina, 2017), перевод автора

Rn и гамма-излучение могут выступать не только факторами риска онкозаболеваний. При активном вдыхании Rn существует вероятность поражения миелиновой оболочки нервных волокон головного и спинного мозга, что может привести к образованию рассеянного склероза.

Недавние исследования, проведённые в Ирландии (Gilmore, 2003), Швеции (Axelson, 2001) и США (Eidbo, 2004) показали увеличение частоты заболеваемости рассеянным склерозом от концентраций Rn в воздухе. В Норвегии выявлены сельские коммуны, долгое проживание на территории которых несет

риск по показателям заболеваемости рассеянным склерозом из-за активностей R_n в помещениях (рисунок 1.12) (Bolviken, 2001).



Рисунок 1.12 – Частота заболеваемости рассеянным склерозом в сельских коммунах в Норвегии (I), средние ОАР в помещениях (II) (Bolviken, 2001), перевод автора

При низких дозах радиации происходит изменение физико-химических свойств и последующая деструкция ДНК. Выявлено достаточное количество синдромов генетической нестабильности, обусловленные повреждениями ДНК (Cadet et al., 1997).

Примером района, где отмечена высокая частота геномных патологий у населения, является штата Керала в Индии, где обнаружены аномальные дозовые нагрузки до 11440 мкГр/год из-за распространения монацитовых песков (Derin et al., 2012; Manigandan et al., 2014). Учеными из Индийского института медицинских наук отмечают частые цитогенетические аберрации в Керале, и как следствие повышенный риск Синдрома Дауна и идиопатического паркинсонизма у новорождённых (таблица 1.1) (Kochupillai, 1976).

В России также существуют места с повышенным естественным радиационным фоном. В Забайкальском крае из-за распространения радиоактивных пород с высоким содержанием урана (сиениты – 7,2 г/т, граниты – 2,9–10,8 г/т, вулканиты – 1–20 г/т и др.) около 40 % территории относится к

радоноопасным районам, где активность радона иногда превышает 10 кБк/м³ (Михайлов и др., 2016; Черняго и др., 2012).

Таблица 1.1 – Показатели распространённости умственной отсталости тяжёлой степени у новорождённых в штате Керала, Индия (Kochupillai, 1976)

Распространенность умственной отсталости тяжелой степени				
Тип	Исследуемое население (12918 чел.)		Контрольная группа (5938 чел)	
	Всего	На 1000 чел.	Всего	На 1000 чел.
Синдром Дауна	12	0,93	0	0
Стандартизованный коэффициент смертности с физическими отклонениями	12	0,93	1	0,17
Идиопатический паркинсонизм	11	0,9	3	0,5
Приобретенные: пренатально и постнатально	6	0,46	3	0,5
Всего	41	3,1	7	1,16

Радиоэкологическая ситуация усугубляется работой предприятий по добыче и обогащению урана (г. Краснокаменск) и наличием природных залежей монацитовых песков и хвостохранилища (Балейский район). Гамма-излучение в данных районах колеблется от 40 до 1500 мкР/час.

Такая опасная радиоэкологическая обстановка вызывает развитие массовых неинфекционных заболеваний у населения. Например, в г. Балей более 95% обследованных детей страдают психическими расстройствами, у 80% детей наблюдаются отклонения в иммунограмме, частота синдрома Дауна в 3–5 раз выше среднероссийский показателей, уровень онкологических заболеваний в 3–4 раза выше, чем в других районах Забайкалья (Государственная геологическая карта, 2006).

²³²Th имеет тенденцию к ретикулоэндотелиальному типу распределения в организме и депонированию в лёгких, костном мозге, желчном пузыре и скелете. Данный радионуклид может адсорбироваться на поверхности клеток, вызывая опухоли печени, остеосаркому (Бахур, 2008; Jemal et al., 2014 и др.).

Продукты распада U и Th – ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra имеют тенденцию к избирательному накоплению в скелете, вызывая саркому кости (Jemal et al., 2014;

Perrier et al., 2016; Wrenn et al., 1985). На рисунке 1.13 представлен график накопления ^{226}Ra в костях человека в различных регионах мира с 1959 по 1970 гг.

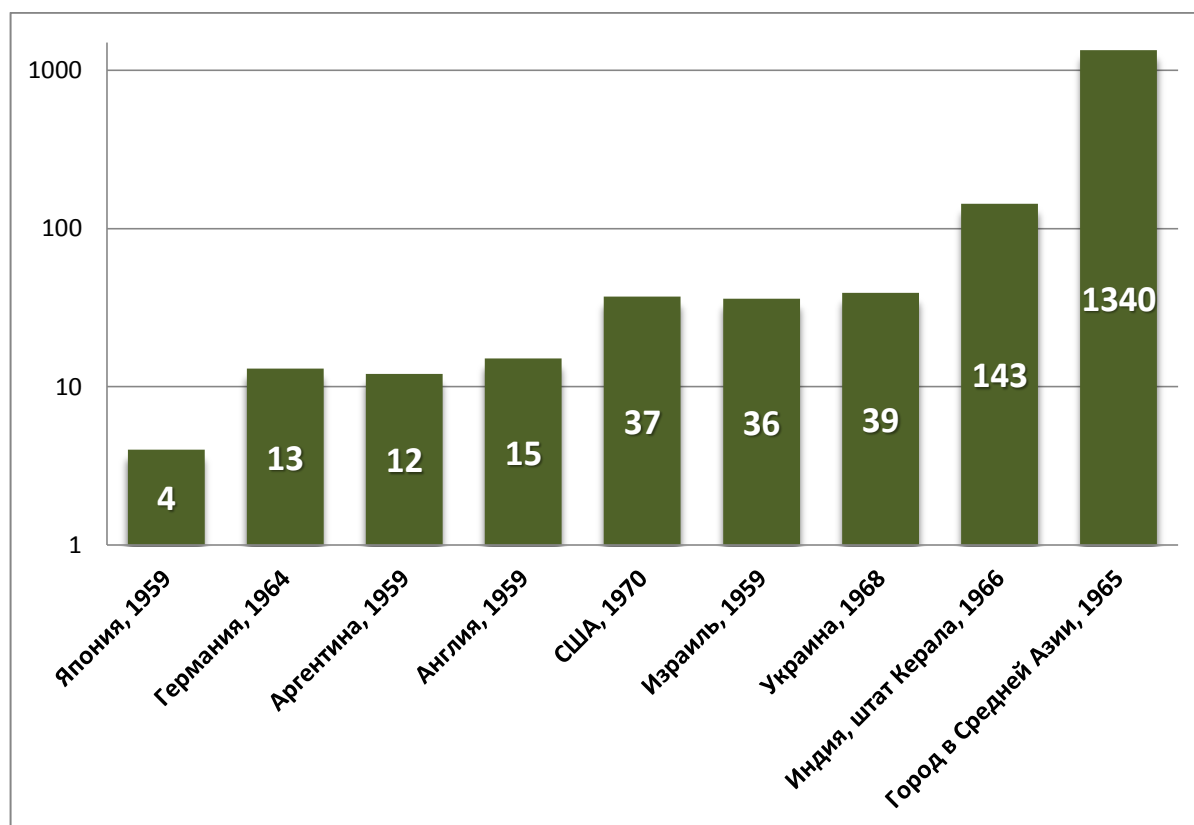


Рисунок 1.13 – Средняя удельная активность ^{226}Ra в костях человека в 10^{-3} пКи/г (Моисеев и др., 1984)

Известно, что U, растворенный в воде, выступает не только в качестве радиационноопасного фактора, создающего внутреннее облучение организма, но и в качестве тяжелого металла – токсичного компонента. U и его соединения характеризуются политропным действием на органы и системы человека, особенно, на почки. Не случайно, U иногда называют «почечным ядом» (Wrenn et al., 1985).

1.2. Положительное действие радиации – эффект гормезиса

Наряду с утверждениями о негативных эффектах радиации на организм человека, не следует забывать о её положительном воздействии.

Существуют случаи, когда непродолжительное облучение радиацией устоявшегося состава (^{40}K , мягкая рентгеновская радиация и др.) ведет к эффекту гормезиса, т.е. стимулирующему эффекту малых доз радиации. В этот момент

происходит активизация некоторых биологических процессов, повышение иммунитета, рождаемости, продолжительности жизни, что активно используется в бальнеологических целях (например, в радонотерапии), в том числе на курортах г. Белокуриха (Казначеев и др., 1999; Казначеев и др., 2011).

Эффект гормезиса при воздействии малых доз радиации на живые объекты наблюдался для простейших клеточных систем (Luckey, 1980), животных (Кузин, 1995) и человека (Kant et al., 2003). Эксперименты по действию ионизирующего излучения на *Drosophila melanogaster* и *Campanulara flexuosa* показали увеличение продолжительности их жизни (Стрелер, 1964; Yamada et al., 1992; Бурлакова и др., 1999; Ивановский, 2006).

Существует мнение о том, что радиоактивность – один из главных факторов развития сложных органических соединений и генетических изменений в живой природе (Кузин, 1991).

Интересные факты положительных действий радиации наблюдались в экспериментах А.А. Дробкова по развитию клубеньковых бактерий в зависимости от расстояния от источника радиации (рисунок 1.14), когда наряду со смертельно губительным воздействием наблюдается стимуляция роста культуры.



Рисунок 1.14 – Схема эксперимента А.А. Дробкова по развитию клубеньковых бактерий вокруг источника радиоактивного излучения

В целом, дозовые зависимости в области малых доз носят сложный и

непрогнозируемый характер. Оценивая научную литературу по вопросу радиационного воздействия, хочется отметить, что большинство ученых сходится во мнении о преобладании негативных эффектов действия радиации на клетку, организм и популяцию. Но эта тема дискуссионна и требует дальнейших исследований.

Абсолютно безопасных для живых организмов доз облучения не существует, и любое радиационное воздействие может вызвать генетические изменения. Дозы, полученные организмом в течение жизни, накапливаются, поэтому, чем дольше продолжается облучение, тем более серьезные последствия для организма следует ожидать.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Фактический материал, отбор проб

Работы по отбору проб и измерениям радиоэкологических показателей проводились в период с 2011 по 2018 гг. на территориях г. Белокуриха Алтайского края и пгт. Колывань Новосибирской области в РФ, г. Чжухай в провинции Гуандун в Китае, а также г. Эшасьер в регионе Овернь во Франции.

Автором совместно с коллегами из ТПУ были осуществлены пробоотбор гранитов, кор выветривания, почв и измерения методом полевой гамма-спектрометрии в Алтайском крае и Новосибирской области, совместно с коллегами из Китайского геологического университета – в районе г. Чжухай (рисунки 2.1, 2.3, 2.5, 3.1). Пробы почв из региона Овернь (Франция) были предоставлены Л.П. Рихвановым. В районе г. Белокуриха в Алтайском крае и п. Колывань в Новосибирской области были проведены измерения активности R_n . Данные по вещественному и составу гранитов региона Овернь, активности R_n в провинции Гуандун и регионе Овернь были взяты из опубликованных источников (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Количество проб и измерений в районах исследования

№ п/п	Район исследования	Исследуемый материал / измерения	Количество проб, измерений
1	г. Белокуриха, Алтайский край, РФ	Граниты	4
2		Коры выветривания	3
3		Почвы	4
4		Полевая гамма-спектрометрия	15
5		Измерения ОАР	4
6	пгт. Колывань, Новосибирская область, РФ	Граниты	3
7		Коры выветривания	5
8		Почвы	3
9		Полевая гамма-спектрометрия	9
10		Измерения ОАР	4
11	г. Чжухай, провинция Гуандун, Китай	Граниты	4
12		Коры выветривания	6
13		Почвы	2
14		Полевая гамма-спектрометрия	21
15		Измерения ОАР	Данные Wang et al., 2012
16	г. Эшасьер, регион Овернь, Франция	Граниты	Данные Cuney, 1992
17		Почвы	3
18		Измерения ОАР	Данные Billon, 2005
Всего			90



Рисунок 2.1 –Отбор проб ферралитных почв в районе г. Чжухай в провинции Гуандун, Китай

Отбор проб природных сред и пробоподготовка к анализам осуществлялась в соответствии с ГОСТами 17.4.1.03-83 и 6613-79, гамма-спектрометрические измерения – с методическими указаниями по идентификации радионуклидов (Карелин, 2011). Измерения ОАР и расчет ППР базировались на методических указаниях МУ 2.6.5.009-2016. Общая схема пробоподготовки исследуемых материалов показана на рисунке 2.2.

2.2. Лабораторно-аналитические исследования

Для минералого-геохимических исследований образцов гранитов, кор выветривания и почв были использованы аттестованные методики в аккредитованных лабораториях: ИНАА, метод фракционирования минералов, рентгенофазовый анализы, осколочная радиография и электронная микроскопия.

Для радиоэкологических исследований непосредственно в полевых условиях в точках отбора проб производился гамма-спектрометрический анализ и радонометрия.

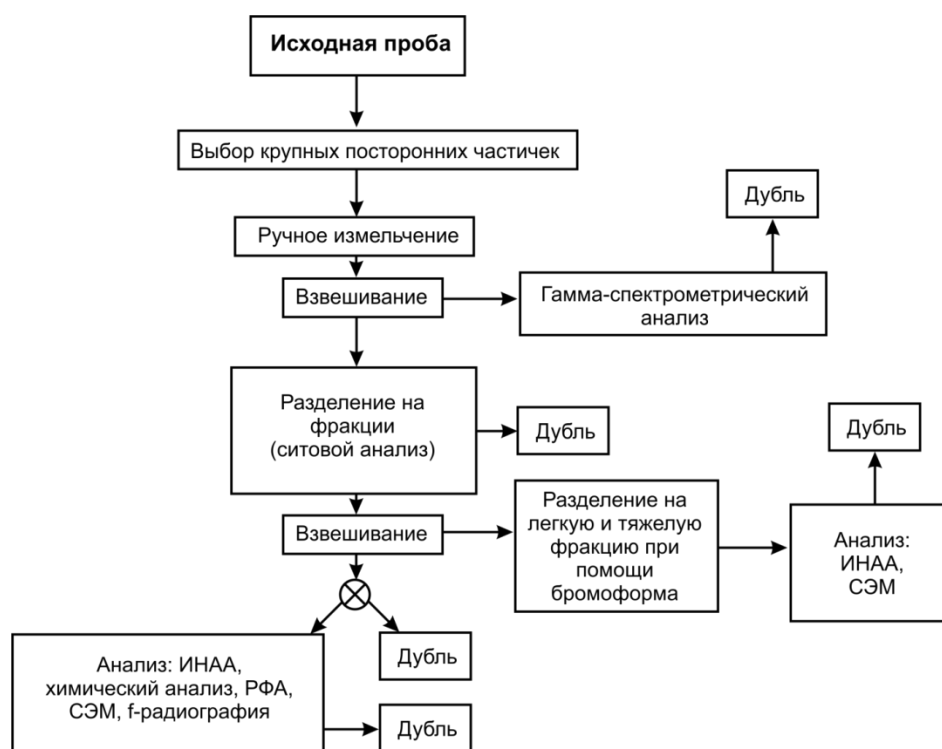


Рисунок 2.2 – Общая схема пробоподготовки материалов для анализов

Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА)

Метод ИНАА позволил определить в исследуемых образцах 28 химических элементов (Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U).

Исследования проводились на исследовательском реакторе ИРТ-Т в ядерно-геохимической лаборатории ИШПР ТПУ в постоянном вертикальном канале тепловыми нейтронами с интегральной дозой $2 \cdot 10^{17} - 1,5 \cdot 10^{18}$ н/см² (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.518623 от 10.10.2011 г., аналитики – с.н.с. Судыко А.Ф., Богутская Л.Ф.).

ИНАА не требует химической подготовки пробы, так как основан на регистрации спектров радиоактивных изотопов, образованных при бомбардировке нейтронами исследуемых образцов. Это является достоинством метода в отличие от метода ISP-MS.

Для анализа необходимо высушить материал (порода, почва) при комнатной температуре, затем истереть в агатовой ступке до состояния пудры, сделать навески по 100 мг и завернуть в алюминиевую фольгу.

Одновременно с исследуемыми пробами в тех же условиях облучались стандартные образцы. Определение содержаний химических элементов производилось путем сравнения интенсивности излучения проб и стандартных образцов в выбранных энергетических интервалах спектрометра.

Метод обладает высокой чувствительностью определения. Погрешность определения содержания элементов обычно составляет 5–15 %. Пределы обнаружения элементов методом ИНАА приведены в таблице 2.2. Помехи от матричных или других элементов могут быть исключены изменениями в продолжительности облучения и охлаждения.

Таблица 2.2 – Пределы обнаружения содержаний элементов в различных объектах (горная порода, почва, растительность и др.) методом ИНАА (Судыко, 2007)

Элемент	Предел обнаружения, г/т	Элемент	Предел обнаружения, г/т
Na	10	Zn	10
Ca	300	Ta	0,01
Fe	100	Sc	0,02
As	0,3	Tb	0,005
Co	0,1	Sm	0,01
Cr	0,2	Eu	0,004
Sb	0,05	La	0,01
Ba	10	Ce	0,06
Br	1	Yb	0,009
Rb	0,5	Lu	0,001
Cs	0,01	Th	0,01
Sr	100	U	0,06
Hf	0,009	Au	0,005
		Ag	0,3

Гамма-спектрометрический анализ проводился с помощью приборов SatisGeo GS-512, предназначенных для полевых измерений естественных и искусственных радионуклидов и их количественной оценки.

Регистрирующий датчик включает в себя сцинтиллирующий чувствительный элемент на основе NaI(Tl) (йодистый натрий, активированный таллием), который вместе с фотоумножителем объединен в герметичный сцинтиллирующий блок, блок питания высокого напряжения и предварительный усилитель.

При выполнении измерений (рисунки 2.3, 2.5) соблюдались рабочие условия эксплуатации: температура окружающего воздуха от +10 до + 35 °С; относительная влажность окружающего воздуха 75 % при +30 °С; атмосферное давление от 84,0 до 106,7 кПа (Карелин, 2012).



Рисунок 2.3 – Проведение гамма-спектрометрических и радонометрических исследований в районе г. Белокуриха, Алтайский край

Основными источниками гамма-излучения горных пород являются К, U и Th. Излучаемые гамма-кванты попадают в энергетический интервал до 2615 кэВ.

Гамма-спектрометрическое определение содержания К основано на регистрации радиоактивного изотопа калия ^{40}K , доля которого в естественных изотопах К составляет 0,012%. Изотоп ^{40}K излучает гамма-лучи с энергией 1461 кэВ.

Гамма-спектрометрическое определение содержания U в полевых условиях выполняется путем регистрации гамма-излучения дочернего продукта ^{238}U – изотопа ^{214}Bi с энергией 1764 кэВ. Гамма-спектрометрическое определение содержания тория Th в полевых условиях осуществляется путем регистрации гамма-излучения дочернего продукта ^{232}Th – изотопа таллия ^{208}Tl с энергией 2615 кэВ. Результаты для U и Th выражаются в ppm (г/т), для К – в %.

В случае расхождения значений, гамма-спектрометрический анализ даёт представление о нарушении радиоактивного равновесия между членами рядов распада радионуклидов. Степень неравновесности определяется по соотношению активностей дочернего и материнского радионуклидов (например, радиоактивное равновесие наблюдается при равных активностях всех членов рядов, т.е. $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U} = 1$).

Сходимость результатов ИНАА и гамма-спектрометрии

Различие в концентрации и профильном распределении для радионуклидов при определении их гамма-спектрометрий и ИНАА связаны с разными метрологическими параметрами методов.

Предел обнаружения Th в гамма-спектрометрическом методе составляет $4 \cdot 10^{-5}$ мас. %, U – $2 \cdot 10^{-5}$ мас. %, в ИНАА для Th и U значения совпадают – $1 \cdot 10^{-5}$ мас. %. Воспроизводимость (т.е. степень близости друг к другу результатов) в гамма-спектрометрии для Th и U варьирует в пределах 10-15 отн. %, в ИНАА – 5-10 отн. %. В связи с приведенными метрологическими параметрами ИНАА является более точным методом определения. При анализе гамма-спектрометрическим методом охватывается значительный объём породы (до 1

м³), поэтому значения Th и U могут быть выше, чем при исследовании методом ИНАА, характеризующим точечную пробу.

Рентгенофазовый анализ (РФА)

Для определения минерального состава гранитов, кор выветривания и почв применялся рентгенофазовый анализ в учебно-научной лаборатории оптической и электронной микроскопии Международного инновационного научно-образовательного центра (МИНОЦ) «Урановая геология» ИШПР ТПУ. Анализ осуществлялся при поддержке доцента, к.г.-м.н. Б.Р. Соктоева. Всего было исследовано 40 проб.

Рентгеновская дифрактометрия (X-ray diffractometry) базируется на способности рентгеновских лучей отражаться от плоских сеток, образованных атомами в кристаллической решетке минерала, что приводит к возникновению дифракционных отражений, которые характеризуется определенным межплоскостным расстоянием и интенсивностью.

На дифрактометре D2 Phaser компании Bruker с реализацией съемки рентгенограмм в геометрии Брега-Брентано было проанализировано 36 образцов гранитов, кор выветривания и почв.

Для РФА исследуемый образец измельчался до пудры и помещался в кювету из кварцевого стекла. Согласно рекомендациям применялись следующие параметры съемки: анод – Cu, напряжение рентгеновской трубки – 30 кВ, ток – 10 мА. Углы съемки 2θ при валовом анализе состава пробы составляли от 5° до 100°, вращение – 10 об./мин, выдержка – 1,5 сек в точке, шаг – 0,02°.

Для расшифровки рентгенограмм применялись программный пакет Eva на основе баз данных рентгеновской порошковой дифрактометрии PDF2 Международного центра дифракционных данных (ICDD, Denver, USA).

Осколочная радиография

Осколочная радиография или f-радиография позволяет определить количественное содержание делящихся радионуклидов, пространственное распределение и формы их нахождения в исследуемом объекте. В основу метода

положена реакция деления ядер атомов ^{235}U и трансурановых элементов под действием тепловых нейтронов и регистрация осколков деления на детекторе.

Подготовка проб к анализу (рисунок 2.4) и интерпретация данных проводились в учебно-научной лаборатории оптической и электронной микроскопии МИНОЦ «Урановая геология» ИШПР ТПУ, облучение образцов – на исследовательском реакторе ИРТ-Т в ядерно-геохимической лаборатории ИШПР ТПУ.



Рисунок 2.4 – Схема подготовки образца и анализ методом f-радиографии

В качестве уранового эталона используется силикатный клей, в который добавлено известное количество водного раствора нитрат уранила. Валовое содержание U в сухом клее определялось лазерно-люминесцентным методом. В используемом клеевом эталоне оно составляет 12,16 мг/кг, а отношение изотопов ^{235}U к ^{238}U по данным масс-спектрометрического анализа равняется 0,00432.

Учитывая нарушенное соотношение изотопов, содержание U в эталоне оценено как 7,2 мг/кг (Сарнаев и др., 1991).

Натуральная слюда – флогопит была использована как детектор, на котором фиксируются следы от осколков деления (треки), которые можно наблюдать при электронной и оптической микроскопии. Был использован стереомикроскоп со встроенной видеокамерой Leica EZ4D. Количество треков было пропорционально содержанию радионуклидов в данной точке исследуемого образца (Рихванов и др., 2007).

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)

Исследования минеральных фаз химических элементов в пробах гранитов, кор выветривания и почв проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N с ЭДС Bruker XFlash 4010 на базе учебно-научной лаборатории электронно-оптической диагностики МИНОЦ «Урановая геология» ИШПР. Всего было исследовано 77 проб. Анализ осуществлялся при поддержке ассистента, к.г.-м.н. С.С. Ильенка.

Пробы исследовались при низком вакууме в режиме обратно-рассеянных электронов, с определением состава отдельных минералов ЭДС. Пробоподготовка образцов гранитов включала измельчение, образцов кор выветривания и почв – разделение на различные по размерности фракции, отмучивание глинистой фракции из водной суспензии, разделение на тяжёлую и лёгкую фракции при помощи бромформа, а также сепарация на магнитную, слабомагнитную и немагнитную фракции Sm-Nd магнитом.

Главными преимуществами метода СЭМ являются высокая разрешающая способность, за счёт которой можно увидеть минеральные частицы размером до десятков нанометров, и проведение количественного рентгеноспектрального анализа с помощью энергодисперсионного спектрометра.

Фракционный метод

Метод разделения на лёгкую и тяжёлую фракции осуществлялся с использованием бромформа (трибромметан, CHBr_3) – тяжёлой жидкости с плотностью 2,89 г/см³. Бромформ широко используется в минералогическом

анализе для разделения минералов тяжёлой фракции (тонущих в бромформе) и лёгкой фракции (плавающих в бромформе).

Разделение пробы на фракции состоит из нескольких этапов:

1. В стеклянную делительную воронку с краном или в простую химическую воронку (диаметром 8–10 см) с резиновой трубкой (диаметром 1 см) и зажимами наливается бромформ, заранее закрыв зажимом конец резиновой трубки. В воронку с бромформом засыпают пробу и тщательно перемешивают тонкой стеклянной палочкой.
2. Все минералы с удельным весом выше плотности бромформа ($> 2,9 \text{ г/см}^3$), падают в нижнюю часть резиновой трубки, образуя тяжелую фракцию; а минералы с удельным весом ниже плотности бромформа ($< 2,9 \text{ г/см}^3$) всплывают в нем, образуя лёгкую фракцию; минералы с удельным весом, равным удельному весу бромформа ($= 2,9 \text{ г/см}^3$), будут находиться во взвешенном состоянии.
3. Установив момент окончательного разделения по удельному весу минералов в данной жидкости, зажимают резиновую трубку вторым зажимом выше положения столбика тяжелой фракции. После этого открывают первый зажим, закрывающий самую нижнюю часть трубки, и бромформ с тяжелой фракцией выливают в небольшой химический стаканчик или фарфоровую чашечку.
4. Бромформ из стаканчика с тяжелой фракцией сливают осторожно опять в воронку таким образом, чтобы зерна минералов тяжелой фракции не попали в лёгкую фракцию
5. Фракции промывают и высушивают для дальнейших анализов.

Радонометрия

В исследуемых районах г. Белокуриха Алтайского края и пгт. Колывань Новосибирской области (рисунки 2.3, 2.5) производилось экспрессное измерение объёмной активности ^{222}Rn и продуктов его распада в воздухе.

Непосредственное измерение альфа- и бета-активности газа в потоке производилось радиометром «Альфарад» марки PPA-01M-01. Принцип работы

прибора основан на электрическом осаждении ^{218}Po (продукт распада ^{222}Rn) на поверхность полупроводникового поверхностно-барьерного детектора и измерения потока альфа-излучения ^{218}Po . Атомы ^{218}Po отрицательно заряженные, в то время как поверхность детектора имеет положительный электрический потенциал, поэтому атомы ^{218}Po будут стремиться к детектору и осаждаться на нем без существенных потерь альфа-частиц.



Рисунок 2.5 – Проведение гамма-спектрометрических и радонометрических исследований в районе пгт. Колывань, Новосибирская область

Измерения радиометром производятся следующим образом:

1. С помощью воздуходувки исследуемый воздух заполняет через фильтр измерительную камеру.
2. Фильтр пропускает только воздух с радоном, отсеивая твердые фракции, содержащие также дочерние продукты распада Rn, которые могут внести существенные погрешности в измерения.

3. С преобразователя напряжения подается высокое напряжение на детектор и собирающее напряжение на его поверхность.
4. Атомы ^{218}Po осаждаются на детектор, происходит регистрация альфа-излучения изотопа детектором.
5. Электрические сигналы с детектора повышаются импульсным усилителем и определяются амплитудным анализатором импульсов, который реагирует только на импульсы с амплитудой, соответствующей энергии альфа-частиц ^{218}Po .
6. Импульсы, прошедшие указанный отбор, регистрируются счетчиком импульсов.
7. Через заданное оператором время (в данном случае – 20 мин) счет импульсов заканчивается, с детектора снимается высокое напряжение, и микропроцессор проводит вычисления по результатам измерений.
8. На экране дисплея высвечивается значение ОАР в Бк/м³.

Данные по заболеваемости некоторыми неинфекционными болезнями в исследуемых районах были получены из 17 источников. Показатели заболеваемости населения Белокурихи за 2014–2016 гг. были взяты в центральной городской больнице г. Белокуриха, показатели заболеваемости населения Колывани за 2011–2016 гг. – в Колыванской центральной районной больнице. Также были использованы данные из опубликованных источников по заболеваемости ЗНО и анемиями в исследуемых регионах, социально-гигиенического паспорта Алтайского края по ВПР у детей, докладов о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Алтайском крае и Новосибирской области, атласа смертности от ЗНО на территории Франции и др. Используемые источники представлены в таблице 2.3.

2.3. Обработка данных

Сбор и интерпретация аналитических данных проводились с использованием программных пакетов «Microsoft Office» и «StatSoft® Statistica 10.0.1011.0».

Статистический анализ позволил определить: среднее значение, стандартную ошибку, медиану, моду, стандартное отклонение, дисперсию, минимальные и максимальные значения, коэффициент вариации.

Для корреляционного анализа был использован коэффициент корреляции Пирсона, предназначенный для описания линейной связи количественных признаков. Коэффициент может принимать значения от -1 до +1, чем ближе значение коэффициента к +1 или -1, тем сильнее корреляционная связь.

Упрощенные геологические карты, схемы и графики были построены с помощью программы «CorelDraw» и «Microsoft Excel».

Поток плотности радона измеряется в мБк/м²*с и рассчитывается с использованием методических указаний МУ 2.6.1.2398-08 по формуле 1:

$$\text{ППР} = \left[Q_{\text{изм}} * \left(1 + \frac{V_{\text{изм}}}{V_{\text{пк}}} \right) - Q_{\text{ф}} * \frac{V_{\text{изм}}}{V_{\text{пк}}} \right] * \exp[\lambda * (t_2 - t_1)] * \frac{V_{\text{пк}} + V_{\text{кк}}}{T * S_{\text{кк}}} \quad (1)$$

где $V_{\text{изм}}$ – объем измерительной камеры радонметра, л;

$V_{\text{пк}}$ – объем пробоотборной емкости, л;

$V_{\text{кк}}$ – объем воздухоотборной камеры, л;

λ – постоянная распада Rn , мин⁻¹;

$Q_{\text{изм}}$ – объемная активность, измеренная радонметром, Бк/м³

$Q_{\text{ф}}$ – объемная фоновая активность наружного воздуха, Бк/м³

$t_2 - t_1$ – время, прошедшее от окончания отбора пробы до начала измерений, мин;

T – время экспозиции, с;

$S_{\text{кк}}$ – площадь сбора радона камерой, м².

Для определения класса противорадоновой защиты используется соотношение 2:

$$\text{ППР}_{\text{класс}} = \text{ППР} + \Delta \text{ППР} \quad (2)$$

где $\Delta \text{ППР}$ – абсолютная погрешность значения ППР, которая определяется погрешностью измерения ОАР = $\Delta Q_{\text{изм}}$.

Для расчета частоты вновь выявленных заболеваний (incidence), использовались методика, при которой число впервые зарегистрированных

случаев заболеваний за год делилось на среднегодовую численность населения исследуемого района (города) и умножалось на 100 000.

Таблица 2.3 – Источники данных по заболеваемости населения в исследуемых районах

Вид заболеваемости/ район исследования	Белокуриха, Алтайский край, РФ	Колывань, Новосибирская обл., РФ	Провинция Гуандун, Китай	Регион Овернь, Франция	Средний показатель по РФ	Мировой стандарт
Первичная заболеваемость ЗНО у всего населения	Данные центральной городской больницы г. Белокуриха за 2014–2016 гг.	Данные Колыванской центральной районной больницы за 2011–2016 гг.	Данные Meng et al., 2016	Данные Le cancer en Auvergne, 2015	Злокачествен ные новообразова ния в России, 2018; данные Salem et al., 2006	Данные Jemal et al., 2014
Первичная заболеваемость ЗНО у детей от 0 до 14 лет	Данные центральной городской больницы г. Белокуриха за 2014–2016 гг.	Данные Колыванской центральной районной больницы за 2011–2016 гг.	Данные Meng et al., 2016	Данные Isfan et al., 2007	Злокачествен ные новообразова ния в России, 2018	Злокачеств енные новообразо вания в России, 2018
Первичная заболеваемость ЗНО у взрослого населения от 18 лет	Данные центральной городской больницы г. Белокуриха за 2014–2016 гг.	Данные Колыванской центральной районной больницы за 2011–2016 гг.	Данные Meng et al., 2016	-	Злокачествен ные новообразова ния в России, 2018; данные Salem et al., 2006	-
Первичная заболеваемость ЗНО лёгкого у всего населения	Данные центральной городской больницы г. Белокуриха за 2014–2016 гг.	Данные Колыванской центральной районной больницы за 2011–2016 гг.	Данные Meng et al., 2016	Данные Le cancer en Auvergne, 2015	Злокачествен ные новообразова ния в России, 2018	Данные Jemal et al., 2014
Первичная заболеваемость ЗНО носоглотки у всего населения	Данные центральной городской больницы г. Белокуриха за 2014–2016 гг.	Данные Колыванской центральной районной больницы за 2011–2016 гг.	Данные Meng et al., 2016; данные Ho, 2017	Данные Le cancer en Auvergne, 2015	Злокачествен ные новообразова ния в России, 2018	Данные Jemal et al., 2014; данные Tang et al., 2016
Первичная заболеваемость ЗНО кроветворной ткани у всего населения	Данные центральной городской больницы г. Белокуриха за 2014–2016 гг.	Данные Колыванской центральной районной больницы за 2011–2016 гг.	Данные Chen et al., 2014	Данные Atlas de la mortalité, 2012	Злокачествен ные новообразова ния в России, 2018	Данные Jemal et al., 2014
Первичная заболеваемость ЗНО кроветворной ткани у детей от 0 до 14 лет	Данные центральной городской больницы г. Белокуриха за 2014–2016 гг.	Данные Колыванской центральной районной больницы за 2011–2016 гг.	Данные Ma et al., 2008	Данные Isfan et al., 2007	Данные Аксель и др., 2009	Данные Аксель и др., 2009
Первичная заболеваемость анемиями у детей от 0 до 14 лет	Доклад «О состоянии санитарно- эпидемиологиче ского благополучия населения в Алтайском крае в 2016 году», 2017	Государственны й доклад «О состоянии санитарно- эпидемиологиче ского благополучия населения в Новосибирской области в 2014 году», 2015	Данные Xu et al., 2004	-	Злокачествен ные новообразова ния в России, 2018	Worldwide prevalence of anaemia, 2008

Продолжение таблицы 2.3

Первичная заболеваемость анемиями у взрослого населения от 18 лет	Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Алтайском крае в 2016 году», 2017	Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Новосибирской области в 2014 году», 2015	Данные Xu et al., 2004	-	Злокачественные новообразования в России, 2018	Worldwide prevalence of anaemia, 2008
Показатели врожденных аномалий у детей до 18 лет	Социально-гигиенический паспорт Алтайского края по врожденным порокам развития у детей, 2017	Данные Кольванской центральной районной больницы за 2011–2016 гг.	Данные Qu et al., 2016	-	Данные Демиковой и др., 2015	Данные Hoffman et al., 2002

ГЛАВА 3. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследований были изучены высокорadioактивные граниты, коры выветривания и почвы, развивающиеся в различных природно-климатических и геологических условиях и отличающиеся различной радиогеохимической спецификой (урановой, ториевой и уран-ториевой). Районами исследования послужили г. Белокуриха в Алтайском крае, пгт. Колывань в Новосибирской области, китайский г. Чжухай, провинция Гуандун и французский г. Эшасьер, регион Овернь (рисунок 3.1).

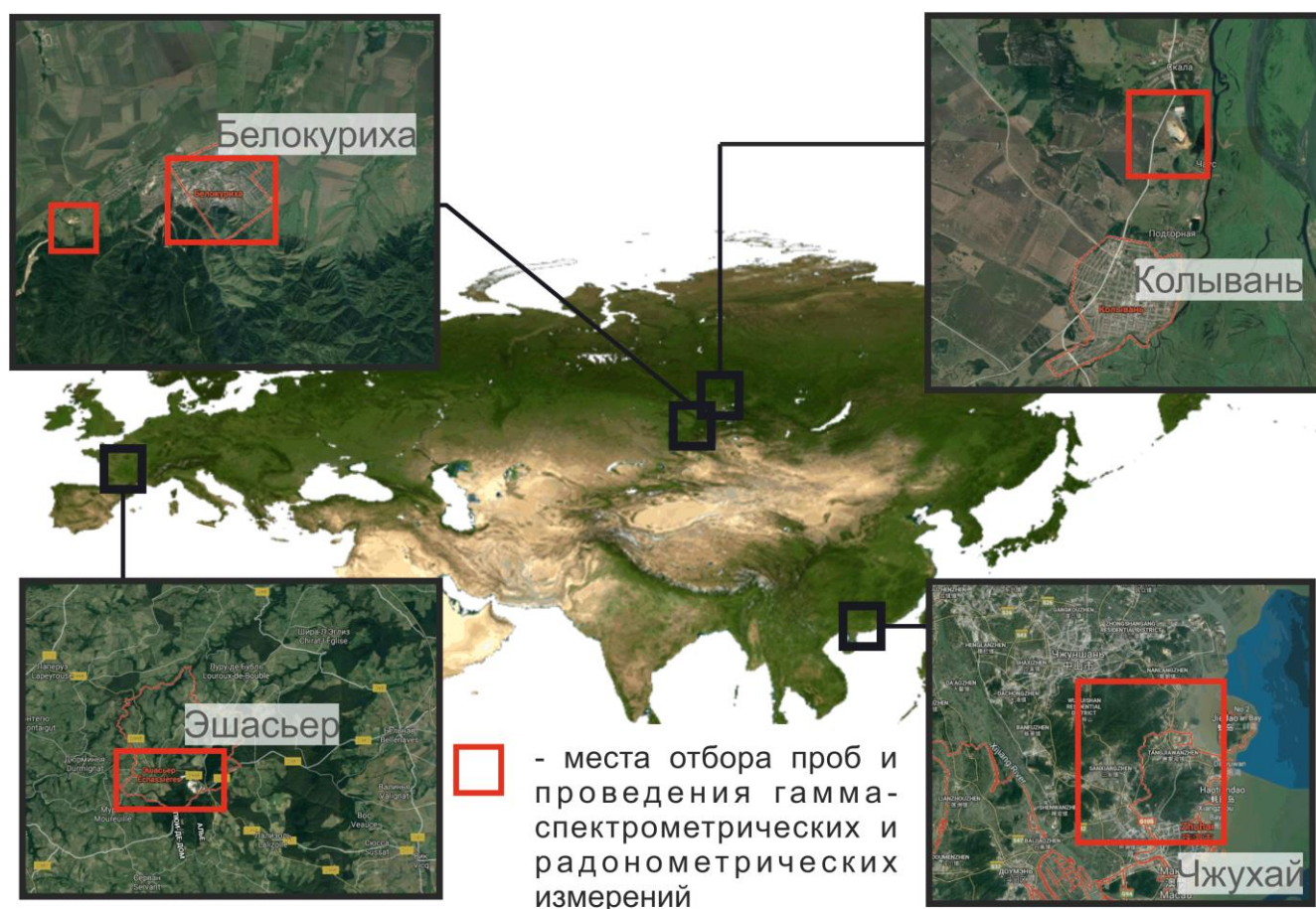


Рисунок 13.1 – Обзорная карта районов исследований с указанием мест отбора проб и проведения гамма-спектрометрических и радонометрических исследований

3.1. Район г. Белокуриха, Алтайский край, Россия

Белокуриха находится на юго-востоке Алтайского края, в предгорье Алтайских гор. Население города на 2018 год составляет 15 тысяч человек.

Природно-климатическая характеристика. Предгорная часть Алтая имеет умеренный климат с отсутствием резких перепадов атмосферного давления и порывов ветра. Средняя температура для зимнего периода составляет -16°C , для летнего периода – $+19^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков – 800 мм. В пределах исследуемой территории преобладают типичные черноземы (Chernozems по WRB 2014).

Геологическое строение. Площадь распространения интрузий белокурихинского гранитного комплекса является частью западного сегмента Алтае-Саянской складчатой области (рисунок 3.2).

Наиболее крупный Белокурихинский плутон локализуется в зоне перехода от Бийско-Барнаульской впадины к горно-складчатому сооружению. Форма тела – лакколитообразная, мощностью от 2 до 10 км, максимум наблюдается в корневой части на водоразделе рек Сосновка и Белокуриха (Табакаева, 2010).

Становление массивов белокурихинского комплекса связано с магматизмом Сибирского суперплюма (Берзин и др., 1994; Добрецов, 2003; Добрецов, 2011). Возраст белокурихинского комплекса по данным уран-свинцового метода по цирконам составляет 233 ± 12 млн лет – верхний триас (Бабин, 2014).

Породы белокурихинского комплекса в % содержат: SiO_2 – 52,7-71,85; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ – 9,14; Al_2O_3 – 13,01-19,2; TiO_2 – 0,57. Отношения K_2O к Na_2O составляет 1,5; Fe_2O_3 к FeO – в среднем 1 (Табакаева, 2011). Породообразующими минералами гранитов являются: кварц, альбит, микроклин, ортоклаз, мусковит и биотит. Из акцессорных минералов содержат циркон и монацит.

Граниты обогащены лёгкими редкоземельными элементами, летучими компонентами (F, B) и радиоактивными элементами (U – 6 г/т, Th – 21 г/т).

В пределах Искровско-Белокурихинской уран-редкометалльной рудной зоны прогнозируется месторождение вольфрама жильного редкометалльно-пегматитового типа в сочетании с рудоносными грейзенами. Район характеризуется повышенной радиоактивностью и относится к радоноопасным территориям (Табакаева, 2011).

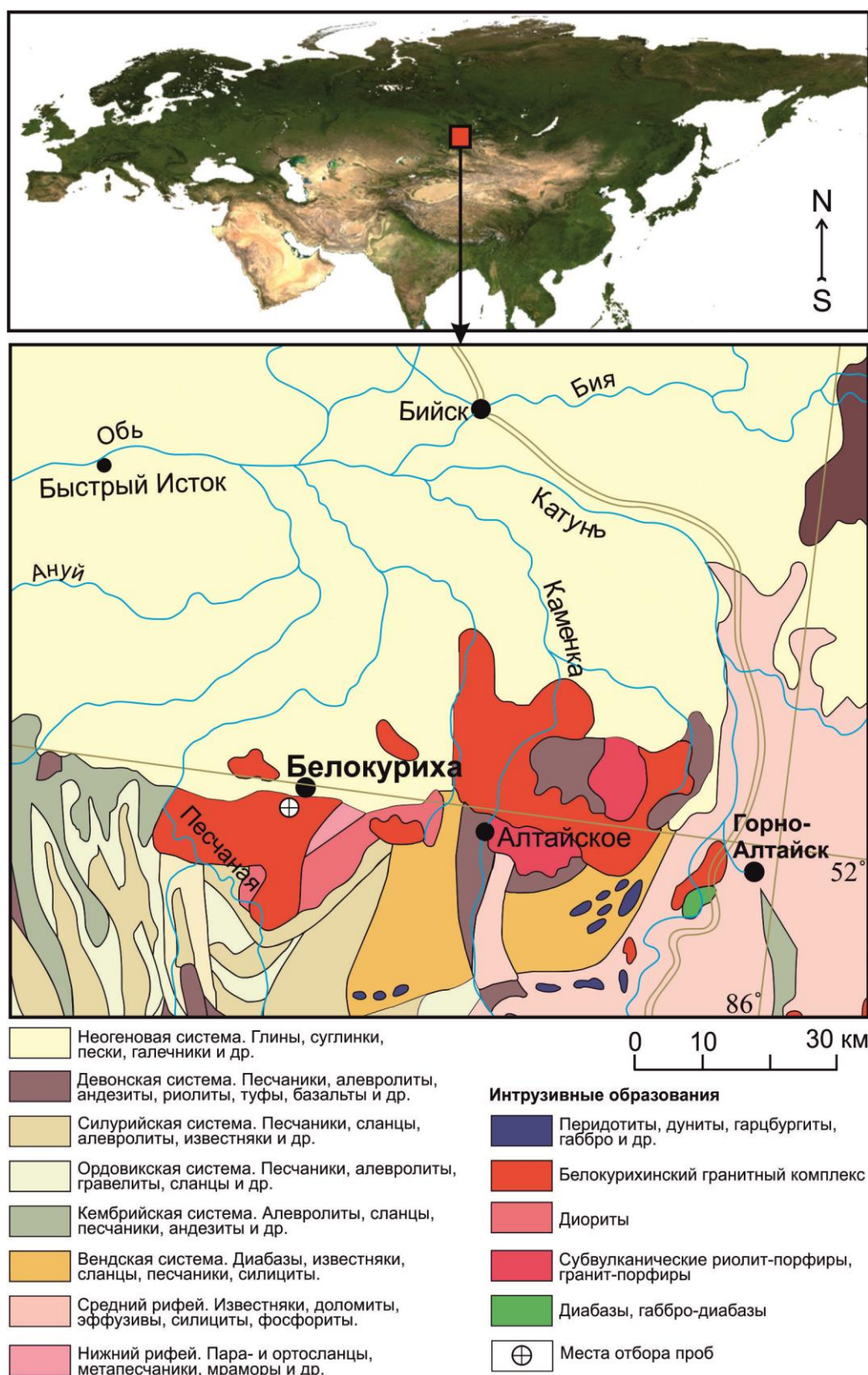


Рисунок 3.2 – Схематичная геологическая карта района г. Белокурихи Алтайского края, составленная по данным геологической карты Алтае-Саянской складчатой области комитета РФ по геологии и использованию недр, ФГБУ «ВСЕГЕИ», под редакцией Матросова П.С., 1989 г., с дополнениями автора

В этой полосе локализуются эндогенные месторождения U, а также уникальное Белокурихинское месторождение радоновых вод, используемое в бальнеологических целях на курортах г. Белокурихи.

3.2. Район пгт. Колывань, Новосибирская область, Россия

Поселок Колывань расположен в Новосибирской области на левом берегу Оби. Численность жителей Колывань на 2017 год составила 12 тысяч.

Природно-климатическая характеристика. Климат исследуемого района – континентальный с резкими колебаниями температуры и осадков. Средняя температура зимнего периода – $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, летнего – $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков составляет 416 мм. Почвы – преимущественно выщелоченные черноземы (Stagnic Chernozems по WRB 2014).

Геологическое строение. Район исследований находится в пределах Колыванского гранитного массива, Барлакского комплекса на юго-восточной окраине Западно-Сибирской равнины, в области сопряжения одноименной плиты с горными сооружениями Алтае-Саянской складчатой области (западной обнаженной части границы Колывань-Томской складчатой зоны). Массив занимает площадь 22 км^2 и представляет собой штокообразное тело, вытянутое субмеридионально на 9,5 км (рисунок 3.3).

Образование Барлакского комплекса приурочено к эволюции Сибирского суперплюма (Берзин и др., 1994; Добрецов, 2003; Добрецов, 2011). Абсолютный возраст гранитного массива, определенный уран-свинцовым методом по цирконам составляет $249,5 \pm 0,9$ млн лет – нижний триас (Бабин и др., 2015).

В основном, массив сложен среднезернистыми монцолейкогранитами, состоящими на 36,3 % из КПШ, на 32,6 % из кварца, на 25,7 % из плагиоклаза, на 4,6 % из биотита, на 1% из акцессориев (апатит, циркон, магнетит, ильменит, церит, монацит и др.). Содержание в % SiO_2 – 72,3-77,1; $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ – 8,7; Al_2O_3 – 12,5-13,9; Fe_2O_3 – 0,02-0,47; FeO – 0,81-1,38; TiO_2 – 0,01-0,17; CaO – 0,25-0,77; P_2O_5 – 0,03.

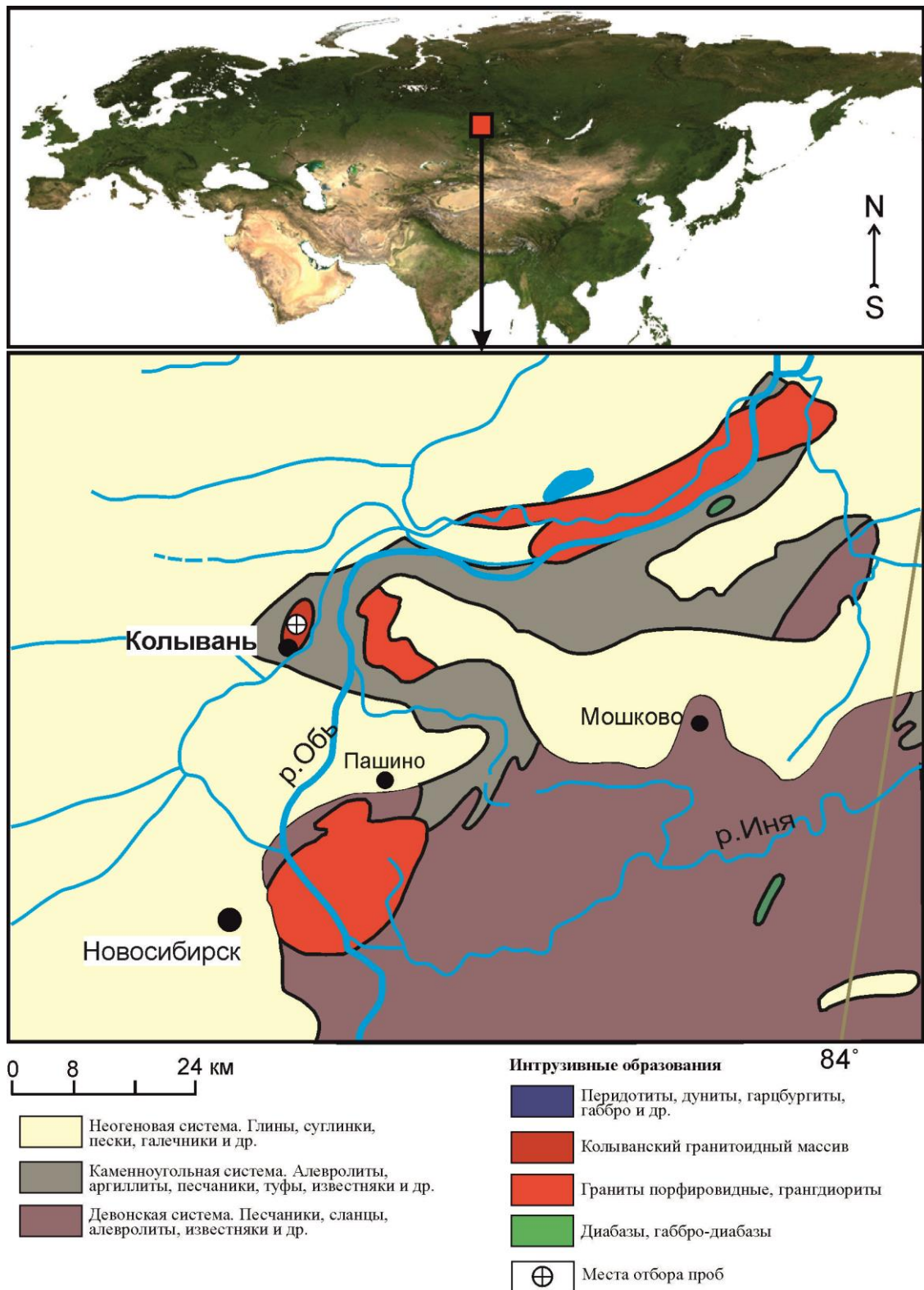


Рисунок 3.3 – Схематичная геологическая карта района пгт. Колывань Новосибирской области, составленная по данным геологической карты Алтае-Саянской складчатой области комитета РФ по геологии и использованию недр, ФГБУ «ВСЕГЕИ» под редакцией Матросова П.С., 1989 г., с дополнениями автора

В Колыванском районе разрабатывается Скалинское месторождение гранитов с запасом 13797 тыс. м³, строительные камни которого широко применяются в строительстве в Новосибирской области.

3.3. Район г. Чжухай, провинция Гуандун, Китай

Город Чжухай расположен в провинции Гуандун на юге Китая, с востока омывается Южно-Китайским морем. Население города на 2016 год составило 1 миллион 675 тысяч человек.

Природно-климатическая характеристика. Климат – субтропический, средние температуры для зимы находятся в пределах 20°C, для лета – +26 °C. Количество осадков, выпадающих за год около 2000 мм. В пределах исследуемой территории распространены преимущественно ферралитные почвы (Ferralsols по WRB 2014).

Геологическое строение. Провинция Гуандун располагается в пределах западной дуги Тихоокеанского металлогенического рудного пояса. Он приурочен к складчатому сочленению платформ Янцзы и Южно-Китайской в области поднятия Вуи. Здесь проходит граница вулканогенного континентально-окраинного серебро-полиметаллического пояса, сформировавшегося на докембрийском фундаменте. В региональном плане структура рудного поля контролируется Южно-Китайской складчатой системой и глубинными разломами: Йинг Тан – Ань Юань и Йинг Тан – Руи Чанг.

В пределах территории рудного поля широко проявлен кислый и, в меньшей степени, субщелочной интрузивный магматизм (граниты, гранит-порфиры, кварцевые сиенит-порфиры, калишпатовые гранит-порфиры, риолитовые порфиры) (Wang et al., 2012).

Территория города Чжухай (рисунок 3.4) и его окрестностей расположена преимущественно на биотитовых, порфировых и монцонитовых гранитах, возраст которых относится к позднеюрскому периоду. Щелочные граниты имеют высокую концентрацию щелочей Na₂O+K₂O – 8%, но относительно низкое содержание кремнезема SiO₂ – 63-75%. (Bureau..., 1988).

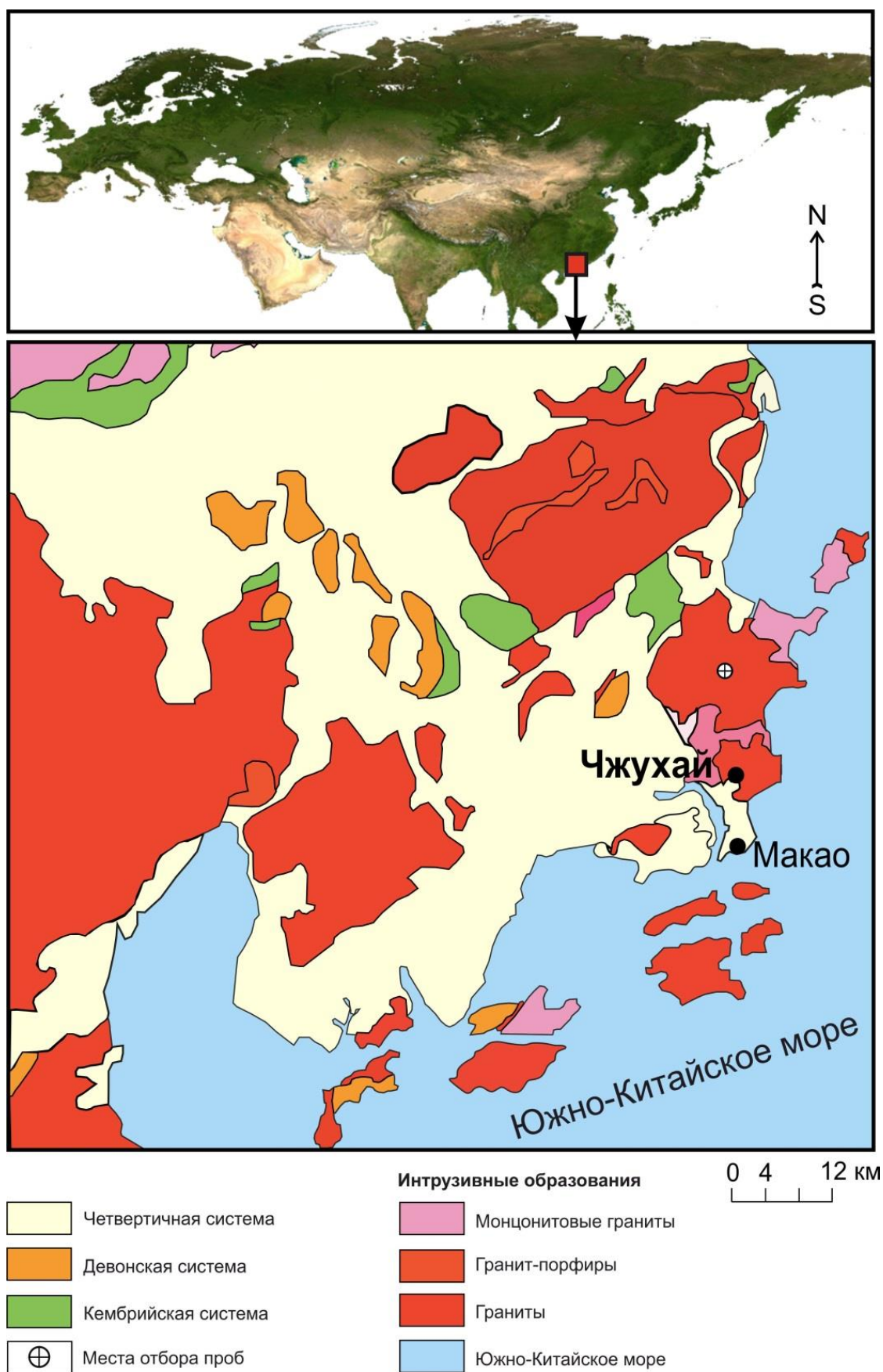


Рисунок 3.4 – Схематичная геологическая карта района г. Чжухай, провинция Гуандун по данным Wang et al., 2012 г., с дополнениями автора

Граниты содержат более 1% акцессорных минералов (циркон, монацит, ксенотим, торит, лопарит и др.), поэтому обогащены лёгкими редкими землями (до 500 г/т) и радиоактивными элементами (U – 26 г/т, Th – 100 г/т).

В связи с гумидным климатом, обуславливающим интенсивные процессы выветривания пород, по гранитам образуются мощные коры выветривания до 50 м. В районе г. Чжухай находится несколько месторождений РЗЭ ионно-сорбционного типа (Li et al., 2005; Jin et al., 2013).

3.4. Район г. Эшасьер, регион Овернь, Франция

Город (коммуна) Эшасьер расположен в центральной Франции в регионе Овернь, в пределах Центрального массива. Численность населения Эшасьер на 2016 – около 390 человек, всего региона Овернь – 1 миллион 362 тысячи человек.

Природно-климатическая характеристика. Климат в регионе – умеренно континентальный. Средняя температура зимой – +3,5 °С, летом – +19,6 °С. Среднегодовое количество осадков 800 мм. Почвенный покров исследуемого района представлен текстурно–дифференцированными – подзолистыми почвами (Sols lessivés по Французской классификации и Luvisols по WRB 2014).

Геологическое строение. Центральный французский массив расположен между речными бассейнами Роны, Гаронны и Луары. Этот горный массив возник на месте древних гор, образованных в герцинскую эпоху складчатости.

Характеризуется многократными проявлениями складчатости, гранитного магматизма и метаморфизма. Северная половина массива – Овернское ядро – состоит из кристаллических сланцев, смятых в складки в конце докембрия и пронизанных гранитными интрузиями, штоками, в том числе Бовуар (Beauvoir) размером 0,2 км², в пределах которого разрабатывается месторождение Эшасьер (Echassiere) (рисунок 3.5). Со среднего карбона до среднего триаса в подвижных поясах доминировали коллизионные обстановки, проходило становление металлоносных массивов гранитов. Эти процессы сформировали на массиве штокверки рудных полей Эшасьер. Штокверки состоят из двуслюдяных гранит-порфиров, возраст которых 320–300 млн лет – верхний карбон (Cuney, 1992).

Содержания породообразующих соединений в литий-фтористых редкометалльных гранитах Бувуар в %: SiO_2 – 66,6; $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ – 8,98; Al_2O_3 – 17,6; Fe_2O_3 – 0,1; FeO – 0,3; CaO – 0,6; P_2O_5 – 1,4; LiO – 1. Отношения K_2O к Na_2O составляет 0,5; Fe_2O_3 к FeO – 0,3. Акцессорными минералами в гранитах являются циркон, монацит, танталит, колумбит, касситерит и др.

Граниты Бувуар отличаются повышенными концентрациями F, Li, Rb, Sn, Ta, W. Содержание Th составляет 1,7 г/т, U – 18 г/т. (Cuney, 1992). Показатели Th/U отношения в породах меньше 1, что может свидетельствовать о метасоматических преобразованиях этих гранитов (Рихванов и др., 2002).

Общий вывод: все исследуемые граниты относятся к щелочному типу ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ – от 8 до 9,14 %) и обогащены ЕРЭ и РЗЭ. Граниты изучаемых территорий формировались в континентальных условиях. Исследуемые породы имеют различные радиогеохимические типы: граниты Белокурихинского и Колыванского комплексов относятся к высокорadioактивным редкометалльным; граниты Чжухая в провинции Гуандун, Китай – к высокорadioактивным ториевым; граниты Бувуар в регионе Овернь, Франция – к высокорadioактивным существенно ураноносным.

Граниты Бувуар отличаются показателями Th/U отношения (меньше 1), что может свидетельствовать о метасоматических преобразованиях этих гранитов (Рихванов и др., 2002).

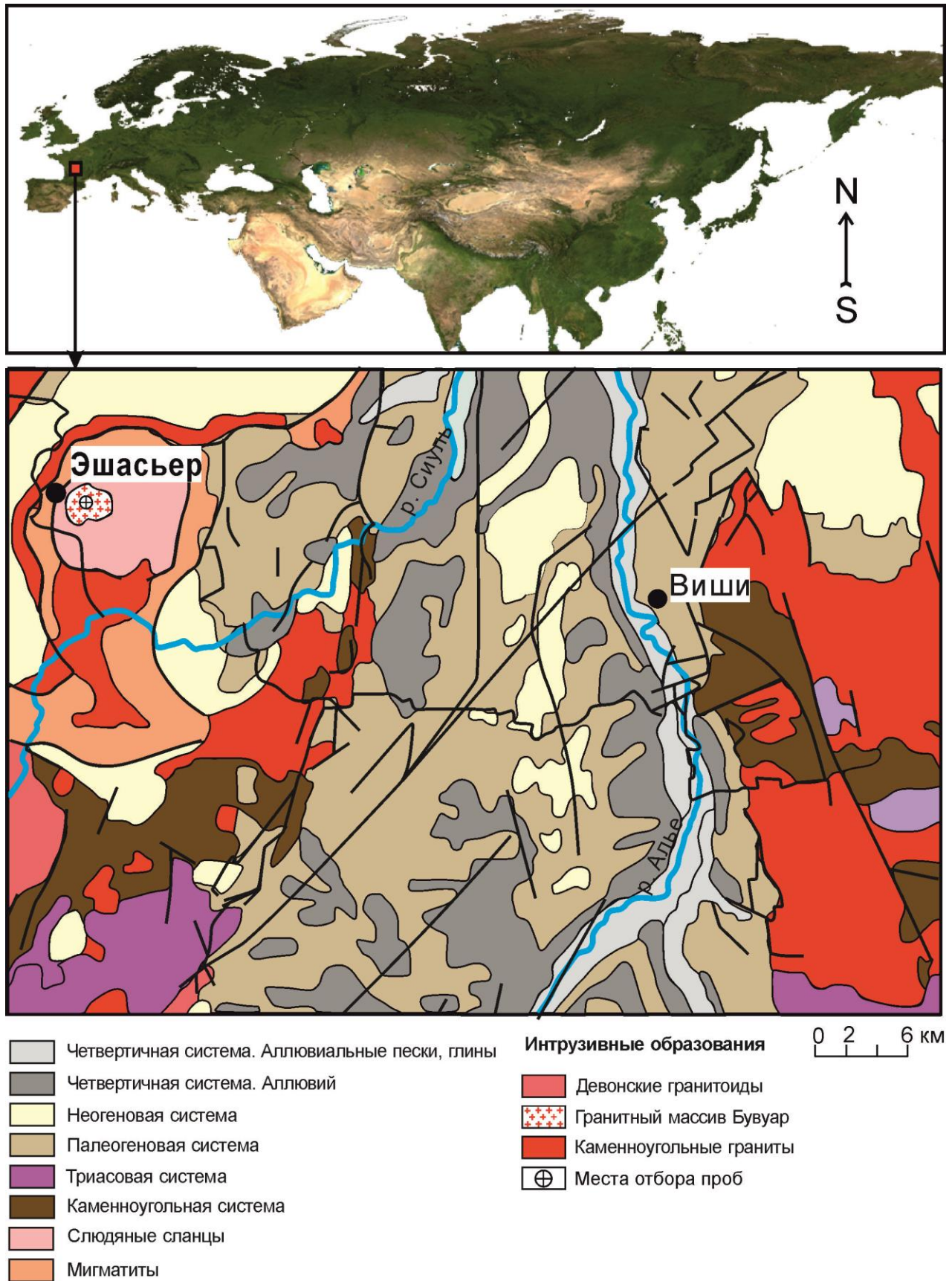


Рисунок 3.5 – Схематичная геологическая карта района г. Эшасьер, регион Овернь по данным Cartographie, 2007 г., с дополнениями автора

4. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАНИТОВ И РАЗВИТЫХ ПО НИМ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ И ПОЧВ

4.1. Общий геохимический состав гранитов, кор выветривания и почв

Состав и характер горных пород имеет большое значение в развитии кор выветривания и автохтонных почв. Наследование почвой состава материнских пород является одним из основных условий ее обогащения различными элементами, в том числе радиоактивными и редкоземельными.

Содержание 28 химических элементов, а также Th/U и La+Ce/Yb+Lu отношения в изученных образцах района г. Белокуриха представлены в таблице 4.1, района пгт. Колывань – в таблице 4.2, района г. Чжухай (провинция Гуандун) – в таблице 4.3, района г. Эшасьер (региона Овернь) – в таблице 4.4.

Для гранитов Белокурихинского комплекса отмечается высокая концентрация Rb, Cs, Nd, **Th**, **U** относительно усредненных Григорьевым показателей в гранитах (Григорьев, 2009). В развитых по этим породам автохтонных почвах наблюдаются высокие концентрации Rb, Cs, La, Ce, Sm, **Th**, **U** в сравнении со среднемировым уровнем (Bowen, 1966). Содержание U в почвах выше средних по Алтайскому краю в 4 раза, Th – в 5 раз (Baranovskaya et al., 2012; Маликова и др., 2011). Th/U отношение в гранитах в среднем составляет 3,3, по профилю коры выветривания варьирует от 2,9 до 6,5.

Колыванские граниты отличаются высоким содержанием Cr, Co, As, Rb, Sb, Cs, Ce, Nd, Sm, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, **Th**, **U**. Почвы также обогащены Co, Br, Ce, Sm, Eu, Yb, Hf, **Th**, **U**. Уровень ЕРЭ в почвах района пгт. Колывань выше средних показателей по Новосибирской области в 2 раза (Baranovskaya et al., 2012; Маликова и др., 2011). Отношение Th к U в данных гранитах – от 3,5 и выше, в продуктах их выветривания – 2,5–5,4.

Повышенные концентрации Cr, Co, Rb, Sb, Cs, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, **Th**, **U** выявлены в гранитах провинции Гуандун. В почвах отмечен высокий уровень Ce, Yb, Lu, Ta, **Th**, **U** относительно мировых показателей (Bowen, 1966) и средних по Китаю значений (Chen et al., 1991). Средние значения Th/U отношения в породах – 3,8, по профилю коры выветривания – от 4,1–7,3.

В гранитах Бувуар региона Овернь установлены высокие уровни As, Rb, Sb, Cs, Hf, Ta, U. Почвы наследуют высокие концентрации Rb, Cs, U. Показатели Th/U отношения в породах меньше 1, что может свидетельствовать о метасоматических преобразованиях этих гранитов (Рихванов и др., 2002).

Для всех исследуемых гранитов прослеживается общая тенденция к повышенному содержанию Zn, Rb, Cs и U относительно среднемировых значений (рисунок 4.1).

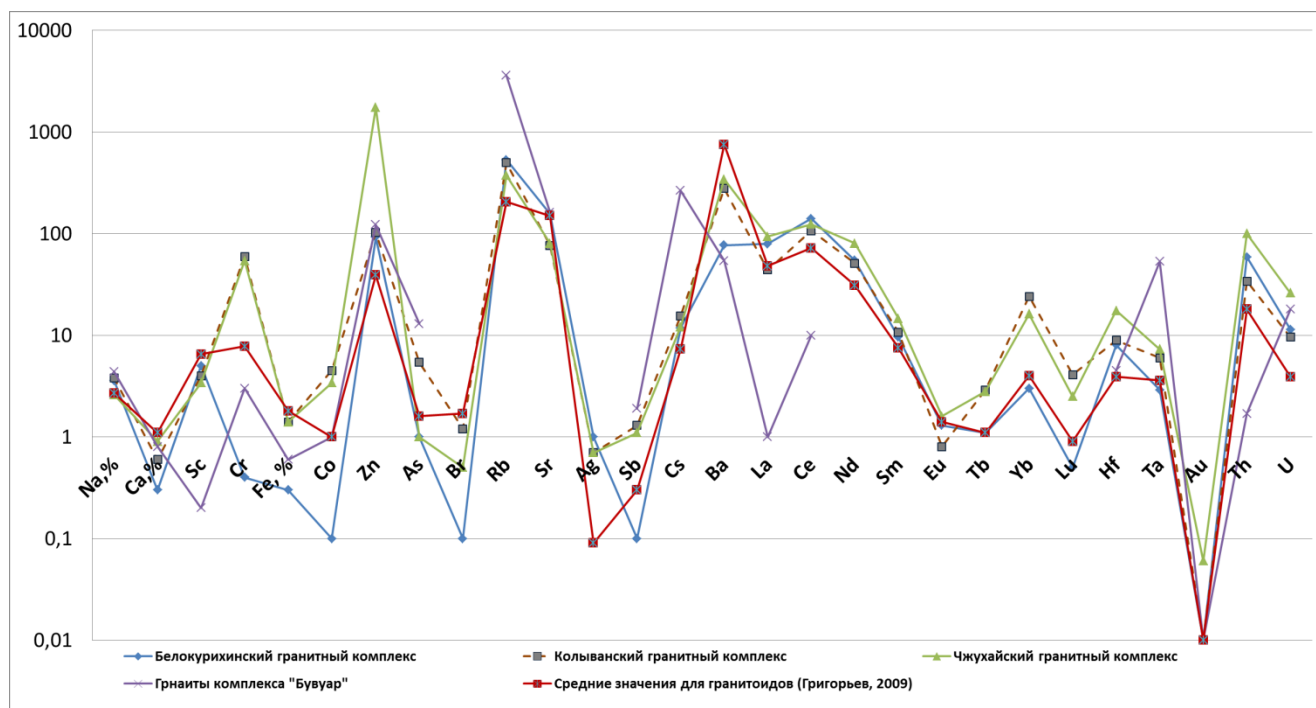


Рисунок 4.1 – Средняя концентрация химических элементов в изучаемых гранитах по данным ИНАА, г/т. Логарифмическая шкала

По радиогеохимической типизации (отношение Th к U) исследуемые граниты относятся к различным группам: граниты Белокурихинского и Колыванского комплексов – к высокорadioактивным редкометалльным; граниты Бувуар (г. Эшасьер, Франция) – к высокорadioактивным существенно ураноносным; граниты Чжухая (провинция Гуандун, Китай) – к высокорadioактивным ториевым (рисунок 4.2).

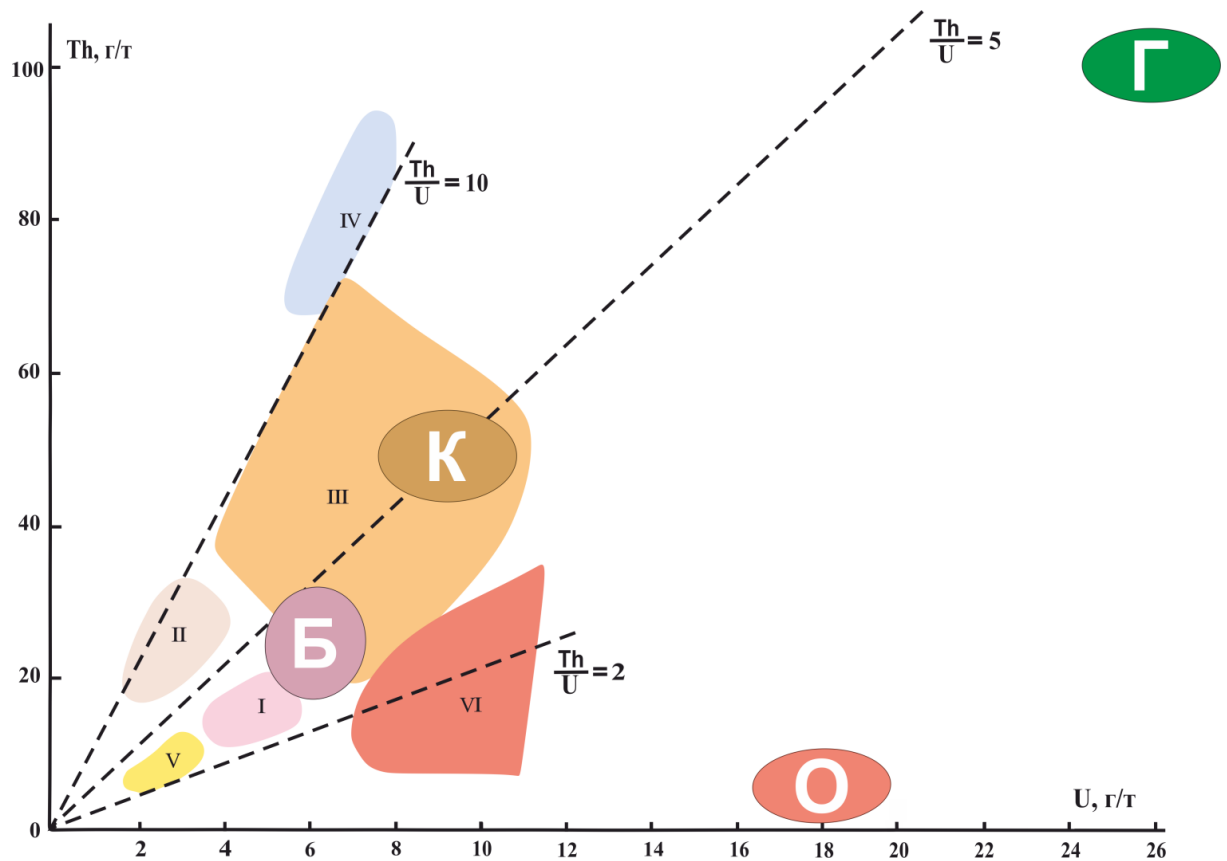


Рисунок 4.2 – Главнейшие радиогеохимические типы гранитов и положение на них гранитов исследуемых районов (по Л.В. Комлеву, А.А. Смыслову, Л.П. Рихванову с дополнениями автора). Поля геохимических типов гранитов : I – нормальнорадиоактивные, $Th/U = 2,5-4,5$; II – повышеннорадиоактивные, $Th/U = 6-10$; III – высокордиоактивные редкометалльные, $Th/U > 5-10$; IV – высокордиоактивные ториеносные, $Th/U > 10$; V – слаборадиоактивные плагиограниты, $Th/U < 2-5$; VI – высокордиоактивные ураноносные, $Th/U = 1-2$. Средние данные по изученным гранитам: Б – района г. Белокуриха, Алтайский край, Россия; К – района пгт. Колывань, Новосибирская область, Россия; Г – района г. Чжухай, провинция Гуандун, Китай; О – района г. Эшасьер, регион Овернь, Франция

Таблица 4.1 – Содержание химических элементов (г/т) в пробах гранитов, кор выветривания и почв района г. Белокуриха в Алтайском крае, по данным ИНАА

Горизонт		Глубина, см	Na, %	Ca, %	Sc	Cr	Fe, %	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Ag	Sb	Cs	Ba
Почва	A	0-3	1,5±0,1	0,8±0,04	8,9±0,4	14,1±1,3	1,9±0,1	6,0±0,8	41,0±4,2	2,3±0,2	3,9±0,3	333,9±38,1	157,6±14,1	1,0±0,1	0,3±0,02	32,9±2,1	324,1±27,4
	B	3-10	1,7±0,1	0,7±0,03	9,8±0,7	13,2±1,0	2,1±0,2	7,7±0,9	39,0±2,0	2,3±0,2	2,9±0,3	338,9±39,8	157,6±14,8	1,0±0,1	0,3±0,01	33,8±3,5	171,7±12,1
	BC	10-20	1,6±0,1	0,8±0,03	11,4±1,3	17,7±1,9	2,5±0,2	7,3±0,7	83,8±5,2	1,9±0,1	4,2±0,4	356,7±41,1	157,6±19,1	1,0±0,1	0,6±0,02	37,1±2,3	279,5±18,2
	C	20-60	1,8±0,2	0,7±0,02	10,6±1,5	11,0±1,3	2,3±0,3	7,6±0,8	73,4±4,8	2,4±0,2	3,8±0,2	398,4±41,3	169,0±13,2	1,0±0,1	0,8±0,04	40,4±3,1	343,6±17,7
Дресва 2		61-1000	1,4±0,1	0,6±0,03	6,6±0,3	0,4±0,03	1,2±0,2	4,1±0,3	16,6±1,2	1,0±0,1	0,9±0,02	373,7±24,9	108,0±9,1	1,0±0,1	0,5±0,03	38,3±5,9	264,4±20,1
Дресва 1		1000-1500	2,0±0,2	1,2±0,08	9,9±1,0	0,7±0,06	2,3±0,3	4,8±0,3	85,4±7,7	0,2±0,01	1,9±0,2	255,2±21,1	196,0±19,3	1,0±0,1	0,2±0,01	26,5±3,2	282,2±19,3
Зона дезинтеграции 2		1500-2000	2,1±0,2	0,7±0,04	8,6±0,6	0,4±0,01	1,7±0,1	4,0±0,2	92,1±7,9	1,0±0,3	1,0±0,1	410,2±38,2	157,6±14,1	1,0±0,1	0,6±0,01	35,8±3,1	217,9±15,1
Зона дезинтеграции 1		2000-2500	2,3±0,2	0,4±0,03	3,3±0,3	5,3±0,3	0,7±0,03	0,2±0,01	32,5±2,2	1,6±0,1	0,6±0,04	290,4±23,1	157,6±19,9	1,0±0,1	0,2±0,01	10,0±2,5	94,4±9,1
Граниты		2500-3000	2,4±0,2	0,3±0,01	5,0±0,6	0,4±0,01	0,3±0,01	0,2±0,01	91,9±5,2	1,0±0,1	0,1±0,01	531,9±47,2	157,6±11,4	1,0±0,1	0,1±0,01	11,8±1,5	76,9±7,9
Кларк ноосферы ¹			1,9	1,6	7	50	2,2	22	н.д.	3	26	96	н.д.	н.д.	0,25	5,9	36
Почвы мира ²			н.д.	н.д.	н.д.	100	3,8	8	н.д.	н.д.	5	100	н.д.	н.д.	н.д.	6	500
Среднее в гранитах ³			2,7	1,1	6,5	7,8	1,8	1	39	1,6	1,7	205	150	0,09	0,3	7,3	750
Кларк континентальной ЗК ⁴			2,4	2,6	н.д.	92	3,9	17,3	67	4,8	1,6	н.д.	320	0,05	0,4	4,9	628

н.д. – нет данных; ¹ геохимический кларк ноосферы (Глазовский, 1982), ² почвы мира (Bowen, 1966), ³ среднее содержание в гранитах (Григорьев, 2009); ⁴ кларк в верхней части континентальной земной коры (Rudnick et al., 2003).

Среднее значение ± стандартная ошибка, аномальные значения элементов при расчёте средних значений не учитывались.

Продолжение таблицы 4.1

Горизонт		Глубина, см	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Th	U	Th /U	La+Ce/Yb+Lu
Почва	A	0-3	47,3±3,8	78,8±8,2	38,2±3,4	5,8±0,4	1,0±0,1	0,3±0,01	2,4±0,2	0,4±0,01	6,2±0,5	1,8±0,1	0,01±0,001	26,2±2,1	6,7±0,7	3,9	45,5
	B	3-10	51,5±4,1	105,9±11,1	30,1±2,9	6,2±0,5	1,1±0,2	0,9±0,05	2,5±0,1	0,4±0,02	6,9±0,7	2,6±0,1	0,01±0,001	26,3±2,3	7,7±0,8	3,4	55,2
	BC	10-20	59,5±4,2	114,5±11,3	39,8±3,8	7,1±0,7	1,4±0,1	0,2±0,01	2,7±0,2	0,4±0,02	7,6±0,9	2,2±0,3	0,01±0,001	35,9±3,8	8,6±0,9	4,2	55,0
	C	20-60	79,4±6,2	140,7±13,2	54,5±4,9	9,6±0,8	1,3±0,03	1,1±0,1	3,0±0,3	0,5±0,02	8,0±0,3	2,9±0,1	0,01±0,001	58,8±4,8	11,4±1,8	5,1	63,5
Дресва 2		61-1000	23,7±2,1	52,6±4,6	50,5±4,1	3,7±0,2	0,6±0,02	0,7±0,03	2,1±0,1	0,3±0,01	6,0±0,5	2,5±0,4	0,01±0,001	29,9±3,0	10,2±1,1	2,9	30,8
Дресва 1		1000-1500	59,7±3,2	116,0±10,2	35,2±3,9	8,3±0,7	1,1±0,1	0,9±0,04	2,5±0,2	0,4±0,02	9,9±0,3	1,8±0,1	0,01±0,001	52,6±4,4	8,0±0,8	6,5	59,7
Зона дезинтеграции 2		1500-2000	56,8±4,2	163,6±12,5	7,6±0,6	6,5±0,6	0,9±0,04	1,0±0,09	2,6±0,4	0,4±0,02	9,1±0,9	1,5±0,2	0,01±0,001	36,5±3,5	9,7±0,9	3,8	73,8
Зона дезинтеграции 1		2000-2500	14,0±1,0	24,5±6,8	5,7±0,8	1,1±0,2	0,3±0,01	0,2±0,01	0,8±0,03	0,2±0,01	4,6±0,9	1,0±0,1	0,01±0,001	28,6±2,8	6,5±0,8	4,4	41,8
Граниты		2500-3000	6,7±0,5	19,0±2,1	50,5±4,9	1,6±0,3	0,2±0,03	0,2±0,01	1,0±0,1	0,2±0,01	2,0±0,2	2,3±0,2	0,01±0,001	21,1±3,8	6,4±0,5	3,3	22,3
Кларк ноосферы ¹			12	32	16	4,5	0,6	0,6	1,9	0,45	2,5	1,9	н.д.	7,6	1,9	4	18,7
Почвы мира ²			40	50	н.д.	4,5	1	0,7	3	0,4	6	н.д.	н.д.	5	1	5	26
Среднее в гранитах ³			48	72	31	7,5	1,4	1,1	4	0,9	3,9	3,6	0,01	18	3,9	4,6	24,5
Кларк континентальной ЗК ⁴			31	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,0015	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.

н.д. – нет данных; ¹ геохимический кларк ноосферы (Глазовский, 1982), ² почвы мира (Bowen, 1966), ³ среднее содержание в гранитах (Григорьев, 2009); ⁴ кларк в верхней части континентальной земной коры (Rudnick et al., 2003).

Среднее значение ± стандартная ошибка, аномальные значения элементов при расчёте средних значений не учитывались.

Таблица 4.2 – Содержание химических элементов (г/т) в пробах гранитов, кор выветривания и почв района пгт. Колывань в Новосибирской области, по данным ИНАА

Горизонт		Глубина, см	Na, %	Ca, %	Sc	Cr	Fe, %	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Ag	Sb	Cs	Ba
Почва		0-30	1,4 ±0,2	1,6 ±0,1	13,4 ±1,2	87,4 ±7,5	3,5 ±0,9	15,4 ±1,9	105,3 ±10,3	22,6 ±2,1	22,2 ±1,8	109,9 ±7,2	54,9 ±4,3	0,70 ±0,02	2,9 ±0,3	5,2 ±0,6	389 ±3,9
Глинистая зона	Глина	30-200	1,5 ±0,2	1,1± 0,1	12,8 ±1,1	83,9 ±7,3	3,3 ±0,9	13,2 ±1,6	178,5 ±12,1	17,5 ±1,9	0,9± 0,02	123,2 ±7,7	98,0 ±5,3	0,70 ±0,02	2,7 ±0,3	5,0 ±0,4	291,4 ±2,4
	Перекрытая КВ ¹	200-250	2,3 ±0,2	0,7± 0,02	7,2± 0,3	83,6 ±7,2	1,8 ±0,3	9,3± 0,8	71,3± 6,9	8,8± 0,9	0,9± 0,03	283,1 ±8,1	98,0 ±5,7	0,70 ±0,02	1,7 ±0,2	7,6 ±0,6	261,7 ±2,3
	Красная глина	250-350	0,1± 0,01	0,8± 0,04	19,3 ±1,9	97,8 ±8,7	5,5 ±0,2	4,7± 0,3	87,0 ±7,7	49,1 ±2,7	5,6± 0,08	65,2 ±5,2	98,0 ±5,3	0,70 ±0,02	5,1 ±0,7	8,9 ±0,7	51,2± 4,4
	Зона коалини- зации	350-600	0,1± 0,03	0,1± 0,01	9,4± 0,8	144,0 ±9,9	0,8 ±0,2	2,0± 0,2	71,4 ±6,4	1,0± 0,3	0,9± 0,02	68,7 ±5,7	98,0 ±5,4	0,70 ±0,02	0,50 ±0,05	3,2 ±0,2	32,9± 3,4
Дресва 2		600-1000	0,1± 0,01	0,1± 0,01	11,1 ±1,3	64,2 ±5,3	1,2 ±0,6	5,7± 0,7	104,7 ±9,9	1,5± 0,1	0,9± 0,02	272,9 ±8,2	98,0 ±5,3	0,70 ±0,02	1,1 ±0,1	13,4 ±1,2	222,8 ±2,1
Дресва 1		1000- 1500	1,0± 0,1	0,3± 0,01	8,6± 0,8	61,3 ±5,1	1,7 ±0,2	1,3± 0,4	86,8 ±7,3	8,2± 0,9	0,9± 0,03	575,9 ±21,8	98,0 ±5,5	0,70 ±0,02	1,4 ±0,5	15,1 ±1,4	256,2 ±12,0
Зона дезинтеграции 2		1500- 2000	0,1± 0,01	0,1± 0,01	19,6 ±2,2	62,2 ±4,9	3,0 ±0,3	3,5± 0,4	71,0 ±6,3	58,6 ±3,5	0,9± 0,02	499,5 ±19,4	98,0 ±5,3	0,70 ±0,02	3,1 ±0,7	17,6 ±1,3	349,1 ±13,1
Зона дезинтеграции 1		2000- 2500	0,6± 0,04	0,3± 0,02	30,0 ±3,1	77,7 ±6,3	7,8 ±0,7	48,3 ±2,9	90,4 ±8,8	30,4 ±2,9	0,9± 0,02	492,3 ±19,1	162, ±1,7	0,70 ±0,02	2,7 ±0,3	13,1 ±1,1	905,3 ±16,5
Граниты		2500- 3000	2,8 ±0,3	0,6± 0,03	4,0 ±0,3	59,6 ±4,7	1,4 ±0,1	4,5 ±0,9	102,5 ±9,8	5,4 ±0,6	1,2 ±0,1	499,4 ±20,9	76,7 ±4,3	0,70 ±0,02	1,3 ±0,2	15,5 ±1,5	278,9 ±12,8
Кларк ноосферы ²			1,9	1,6	7	50	2,2	22	н.д.	3	26	96	н.д.	н.д.	0,25	5,9	36
Почвы мира ³			н.д.	н.д.	н.д.	100	3,8	8	н.д.	н.д.	5	100	н.д.	н.д.	н.д.	6	500
Среднее в гранитах ⁴			2,7	1,1	6,5	7,8	1,8	1	39	1,6	1,7	205	150	0,09	0,3	7,3	750
Кларк континентальной ЗК ⁵			2,4	2,6	н.д.	92	3,9	17,3	67	4,8	1,6	н.д.	320	0,05	0,4	4,9	628

н.д. – нет данных; ¹ КВ – кора выветривания; ² геохимический кларк ноосферы (Глазовский, 1982), ³ почвы мира (Bowen, 1966), ⁴ среднее содержание в гранитах (Григорьев, 2009); ⁵ кларк в верхней части континентальной земной коры (Rudnick et al., 2003).

Среднее значение ± стандартная ошибка, аномальные значения элементов при расчете средних значений не учитывались.

Продолжение таблицы 4.2

Горизонт		Глубина, см	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Th	U	Th /U	La+Ce/ Yb+Lu
Почва		0-30	39,2 ±1,7	81,7± 4,8	27,5± 1,0	7,5 ±0,8	1,4± 0,6	0,9± 0,01	3,9± 0,2	0,6± 0,02	8,5± 0,8	1,3± 0,2	0,020 ±0,001	14,9 ±1,3	4,9± 0,3	3,1	26,9
Глинистая зона	Глина	30-200	36,2 ±1,5	75,4± 3,3	32,1± 1,5	7,1± 0,8	1,3± 0,3	1,1± 0,2	5,2± 0,4	0,7± 0,03	8,4± 0,7	1,3± 0,3	0,020 ±0,001	11,7 ±1,1	4,5± 0,3	2,6	18,9
	Перекрытая КВ ¹	200-250	27,3 ±0,9	69,2± 2,8	30,5± 1,3	5,4± 0,5	0,6± 0,2	0,7± 0,02	7,3± 0,6	1,0± 0,2	7,0± 0,6	3,5± 0,4	0,020 ±0,001	19,2 ±1,5	7,5± 0,6	2,5	11,6
	Красная глина	250-350	22,1 ±0,8	41,0± 1,6	22,3± 0,9	4,0± 0,2	0,7± 0,3	0,4± 0,01	5,7± 0,6	0,8± 0,04	6,4± 0,5	3,3± 0,3	0,020 ±0,001	32,0 ±2,3	8,2± 0,7	3,9	9,7
	Зона коалини- зации	350-600	22,2 ±0,8	104,6 ±5,9	22,7± 0,9	5,0± 0,3	0,3± 0,1	1,1± 0,2	12,1 ±0,9	2,1± 0,8	11,5 ±1,2	5,5± 0,5	0,020 ±0,001	57,2 ±4,6	10,6 ±1,1	5,4	8,9
Дресва 2		600-1000	51,5 ±4,8	200,4 ±9,8	50,8± 4,0	9,4± 0,5	0,6± 0,2	1,3± 0,2	9,6± 0,3	1,6± 0,2	10,6 ±0,9	7,4± 0,6	0,020 ±0,001	47,1 ±3,3	10,2 ±1,0	4,6	22,4
Дресва 1		1000-1500	36,2 ±2,1	83,5± 6,8	35,5± 2,9	6,8± 0,3	0,6± 0,2	1,7± 0,2	12,5 ±0,8	2,2± 0,3	9,6± 0,8	5,1± 0,3	0,020 ±0,001	32,1 ±2,7	8,3± 0,7	3,9	8,2
Зона дезинтеграции 2		1500-2000	35,0 ±1,9	155,6 ±7,8	28,5± 1,8	10,5 ±0,4	1,4± 0,7	3,2± 0,4	27,9 ±0,9	4,7± 0,3	10,7 ±0,8	7,3± 0,7	0,020 ±0,001	39,8 ±2,8	12,1 ±1,2	3,3	5,8
Зона дезинтеграции 1		2000-2500	53,8 ±2,7	444,9 ±9,7	108,8 ±6,1	20,0 ±0,7	3,5± 0,9	8,9± 0,5	70,7 ±0,9	12,6 ±0,5	5,6± 0,4	4,1± 0,3	0,020 ±0,001	73,0 ±5,9	15,6 ±1,3	4,7	6,0
Граниты		2500-3000	44,0 ±2,6	107,0 ±5,8	51,1± 3,8	10,7 ±0,9	0,8± 0,1	2,9± 0,1	24,1 ±0,2	4,1± 0,1	8,9± 0,7	6,0± 0,5	0,020 ±0,001	34,0 ±2,9	9,6± 0,8	3,5	5,3
Кларк ноосферы ²			12	32	16	4,5	0,6	0,6	1,9	0,45	2,5	1,9	н.д.	7,6	1,9	4	18,7
Почвы мира ³			40	50	н.д.	4,5	1	0,7	3	0,4	6	н.д.	н.д.	5	1	5	26
Среднее в гранитах ⁴			48	72	31	7,5	1,4	1,1	4	0,9	3,9	3,6	0,01	18	3,9	4,6	24,5
Кларк континентальной ЗК ⁵			31	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,0015	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.

н.д. – нет данных; ¹ КВ – кора выветривания; ² геохимический кларк ноосферы (Глазовский, 1982), ³ почвы мира (Bowen, 1966), ⁴ среднее содержание в гранитах (Григорьев, 2009); ⁵ кларк в верхней части континентальной земной коры (Rudnick et al., 2003).

Среднее значение ± стандартная ошибка, аномальные значения элементов при расчете средних значений не учитывались.

Таблица 4.3 – Содержание химических элементов (г/т) в пробах гранитов, кор выветривания и почв района г. Чжухай в провинции Гуандун, по данным ИНАА

Горизонт		Глубина, см	Na, %	Ca, %	Sc	Cr	Fe, %	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Ag	Sb	Cs	Ba
Почва	A0	0-3	0,020± 0,002	0,30±0,02	5,6 ±0,5	22,9 ±0,2	2,1 ±0,2	1,6 ±0,2	47,5 ±2,8	5,6 ±0,5	2,2 ±0,1	21,9 ±0,3	20,0 ±1,2	1,0 ±0,1	1,3 ±0,1	2,5 ±0,1	48,6 ±3,1
	A1	3-13	0,030± 0,002	0,30±0,02	5,8 ±0,5	21,1 ±0,2	2,0 ±0,2	1,5 ±0,1	44,5 ±2,9	5,0 ±0,4	5,3 ±0,4	22,5 ±0,2	20,0 ±1,2	1,0 ±0,1	1,5 ±0,1	2,8 ±0,2	35,4 ±2,6
	AB	13-31	0,020± 0,002	0,20±0,01	4,1± 0,3	17,1 ±1,1	1,5 ±0,1	1,1 ±0,1	33,9 ±1,5	4,3 ±0,3	1,4 ±0,2	17,3 ±0,1	20,0 ±2,2	1,0 ±0,1	0,9± 0,01	1,7 ±0,1	42,9 ±3,2
	B1	31-61	0,020± 0,002	0,20±0,02	4,6 ±0,4	17,2 ±1,6	1,6 ±0,1	1,1± 0,1	36,3 ±1,8	5,8 ±0,3	1,4 ±0,1	13,6 ±0,2	20,0 ±3,2	1,0 ±0,1	0,9± 0,01	1,8 ±0,1	71,2 ±4,1
	B2	61-93	0,010± 0,001	0,20±0,02	5,3 ±0,4	15,7 ±1,5	1,7 ±0,1	1,2 ±0,1	29,5 ±0,9	5,6 ±0,4	0,5± 0,04	19,9 ±0,3	20,0 ±1,2	1,0 ±0,1	0,9± 0,01	1,9 ±0,1	45,1 ±3,6
	C	93-120	0,010± 0,001	0,30±0,02	6,4± 0,5	15,8 ±1,1	2,0 ±0,2	1,6 ±0,2	31,1 ±1,1	4,8 ±0,3	0,5± 0,02	23,8 ±0,2	20,0 ±4,3	1,0 ±0,1	0,6± 0,04	2,1 ±0,2	43,1 ±2,5
Латеритная зона		120-250	0,010± 0,001	0,30±0,02	6,0± 0,5	15,3 ±1,2	1,9 ±0,2	1,5 ±0,1	41,6 ±2,7	3,3 ±0,2	0,3± 0,03	24,5 ±0,2	20,0 ±2,7	1,0 ±0,1	0,8± 0,07	1,7 ±0,1	45,3 ±3,9
Зона дезинтеграции		250-500	1,3±0,1	0,70±0,03	6,4 ±0,6	84,9 ±6,3	2,8 ±0,3	2,3 ±0,3	278,2 ±8,1	4,90 ±0,3	5,78 ±0,5	284,4 ±7,5	80,0 ±3,5	0,7± 0,05	8,3 ±0,7	4,0± 0,3	1209 ±8,6
Граниты		500-1000	2,6±0,1	0,90±0,04	3,4 ±0,2	54,3 ±3,2	1,4 ±0,1	3,4 ±0,2	1737,6 ±16,7	1,0 ±0,1	0,5± 0,01	373,9 ±9,3	80,0 ±2,4	0,7± 0,04	1,1 ±0,1	12,1 ±1,0	342 ±2,1
Кларк ноосферы ¹			1,9	1,6	7	50	2,2	22	н.д.	3	26	96	н.д.	н.д.	0,25	5,9	36
Почвы мира ²			н.д.	н.д.	н.д.	100	3,8	8	н.д.	н.д.	5	100	н.д.	н.д.	н.д.	6	500
Почвы Китая ³			1	1,5	11,1	61	3	13	74	11	5,3	111	150	0,13	1,2	8,2	469
Среднее в гранитах ⁴			2,7	1,1	6,5	7,8	1,8	1	39	1,6	1,7	205	150	0,09	0,3	7,3	750
Кларк континентальной ЗК ⁵			2,4	2,6	н.д.	92	3,9	17,3	67	4,8	1,6	н.д.	320	0,05	0,4	4,9	628

н.д. – нет данных; ¹ геохимический кларк ноосферы (Глазовский, 1982), ² почвы мира (Bowen, 1966), ³ средние в почвах Китая (Chen et al., 1991), ⁴ среднее содержание в гранитах (Григорьев, 2009); ⁵ кларк в верхней части континентальной земной коры (Rudnick et al., 2003).

Среднее значение ± стандартная ошибка, аномальные значения элементов при расчете средних значений не учитывались.

Продолжение таблицы 4.3

Горизонт		Глубина, см	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Th	U	Th /U	La+Ce/ Yb+Lu
Почва	A0	0-3	9,4±0,8	50,0 ±4,0	6,0 ±0,5	1,0± 0,1	0,1± 0,01	0,4± 0,05	4,4 ±0,5	0,5± 0,03	7,0 ±0,7	4,2 ±0,3	0,020 ±0,001	46,2±2,8	7,7±0,7	6,0	12,0
	A1	3-13	9,6±0,7	51,1 ±2,5	2,1 ±0,3	1,0± 0,1	0,1± 0,01	0,4± 0,05	4,2 ±0,4	0,5± 0,02	5,5 ±0,4	4,7 ±0,3	0,020 ±0,001	47,6±2,7	8,1±0,7	5,9	13,0
	AB	13-31	6,1±0,3	44,6 ±3,8	4,6 ±0,5	0,6± 0,03	0,1± 0,01	0,2± 0,01	2,9 ±0,1	0,3± 0,03	4,1 ±0,3	2,5 ±0,2	0,010 ±0,001	33,7±1,9	5,0±0,4	6,8	15,5
	B1	31-61	6,2±0,1	44,7 ±2,6	4,4 ±0,4	0,6± 0,03	0,1± 0,01	0,3± 0,02	3,0 ±0,3	0,3± 0,01	4,3 ±0,3	2,8 ±0,2	0,020 ±0,001	35,8±2,7	5,5±0,5	6,6	15,5
	B2	61-93	8,0±0,7	56,9 ±3,4	0,5 ±0,4	0,8± 0,05	0,1± 0,01	0,4± 0,05	3,9 ±0,3	0,5± 0,01	5,9 ±0,4	4,1 ±0,3	0,010 ±0,001	45,3±3,1	7,0±0,6	6,5	15,0
	C	93-120	10,3±0,9	70,6 ±5,3	4,4 ±0,3	1,1 ±0,1	0,1± 0,01	0,6± 0,05	5,4 ±0,5	0,7± 0,03	7,6 ±0,1	5,2 ±0,5	0,030 ±0,001	55,3±5,2	7,5±0,7	7,3	13,2
Латеритная зона		120-250	8,4±0,3	62,9 ±4,5	4,3 ±0,3	0,9± 0,05	0,1± 0,01	0,5± 0,05	5,3 ±0,4	0,7± 0,03	6,3 ±0,5	5,3 ±0,7	0,030 ±0,001	53,4±4,6	8,5±0,3	6,2	12,0
Зона дезинтеграции		250-500	42,5±2,1	154,6 ±9,5	33,0 ±3,2	6,2 ±0,5	0,5± 0,02	1,5 ±0,1	9,8 ±0,5	1,3 ±0,1	25,3 ±1,7	4,7 ±0,4	0,030 ±0,001	50,4±3,1	12,4±0,9	4,1	17,6
Граниты		500-1000	93,8±3,4	123,7 ±8,1	80,2 ±1,5	14,6 ±1,2	1,6 ±0,1	2,8 ±0,2	16,2 ±1,0	2,5 ±0,1	17,5 ±0,9	7,3 ±0,5	0,060 ±0,002	100±9,5	26,1±3,1	3,8	11,6
Кларк ноосферы ¹			12	32	16	4,5	0,6	0,6	1,9	0,45	2,5	1,9	н.д.	7,6	1,9	4	18,7
Почвы мира ²			40	50	н.д.	4,5	1	0,7	3	0,4	6	н.д.	н.д.	5	1	5	26
Почвы Китая ³			40	68	26	5,2	1	0,6	2,4	0,4	7,7	1	н.д.	14	3	4,7	38,6
Среднее в гранитах ⁴			48	72	31	7,5	1,4	1,1	4	0,9	3,9	3,6	0,01	18	3,9	4,6	24,5
Кларк континентальной ЗК ⁵			31	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,0015	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.

н.д. – нет данных; ¹ геохимический кларк ноосферы (Глазовский, 1982), ² почвы мира (Bowen, 1966), ³ средние в почвах Китая (Chen et al., 1991), ⁴ среднее содержание в гранитах (Григорьев, 2009); ⁵ кларк в верхней части континентальной земной коры (Rudnick et al., 2003).

Среднее значение ± стандартная ошибка, аномальные значения элементов при расчете средних значений не учитывались.

Таблица 4.4 – Содержание химических элементов (г/т) в пробах гранитов и почв района г. Эшасьер в регионе Овернь, по данным ИНАА

Горизонт	Глубина, см	Na, %	Ca, %	Sc	Cr	Fe, %	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Ag	Sb	Cs	Ba
Почва	0-100	0,50 ±0,03	2,5 ±0,1	3,2 ±0,5	11,7 ±0,9	1,2 ±0,1	2,2 ±0,2	108,9 ±5,5	24,3 ±1,7	5,8 ±0,5	443,8 ±9,9	30,0 ±0,7	0,50 ±0,01	2,1 ±0,1	96,5 ±3,8	482 ±6,5
Граниты ¹	>1000	н.д.	н.д.	0,2	3	н.д.	1	н.д.	13	н.д.	3600	н.д.	н.д.	1,9	265	54
<i>Кларк ноосферы</i> ²		1,9	1,6	7	50	2,2	22	н.д.	3	26	96	н.д.	н.д.	0,25	5,9	36
<i>Кларк континентальной ЗК</i> ³		2,4	2,6	н.д.	92	3,9	17,3	67	4,8	1,6	н.д.	320	0,05	0,4	4,9	628
<i>Почвы мира</i> ⁴		н.д.	н.д.	н.д.	100	3,8	8	н.д.	н.д.	5	100	н.д.	н.д.	н.д.	6	500
<i>Среднее в гранитах</i> ⁵		2,7	1,1	6,5	7,8	1,8	1	39	1,6	1,7	205	150	0,09	0,3	7,3	750
Горизонт	Глубина, см	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Th	U	Th /U	La+Ce/Yb+Lu
Почва	0-100	11,3 ±1,4	29,3 ±1,5	20,8 ±1,9	2,1 ±0,1	0,70 ±0,05	0,30 ±0,02	0,80 ±0,05	0,10 ±0,01	2,3 ±0,2	7,0 ±0,4	0,010 ±0,002	4,6 ±0,3	6,5 ±0,5	0,7	45,1
Граниты ¹	>1000	1	10	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	4,5	53,2	0,01	0,6- 1,7	9-18	0,1	н.д.
<i>Кларк ноосферы</i> ²		12	32	16	4,5	0,6	0,6	1,9	0,45	2,5	1,9	н.д.	7,6	1,9	4	18,7
<i>Кларк континентальной ЗК</i> ³		31	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,0015	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
<i>Почвы мира</i> ⁴		40	50	-	4,5	1	0,7	3	0,4	6	н.д.	0,005	5	1	5	26
<i>Среднее в гранитах</i> ⁵		48	72	31	7,5	1,4	1,1	4	0,9	3,9	3,6	0,01	18	3,9	4,6	24,5

н.д. – нет данных; ¹ содержания по данным Cuneu, 1992; ² кларк в верхней части континентальной земной коры (Rudnick et al., 2003); ³ геохимический кларк ноосферы (Глазовский, 1982), ⁴ почвы мира (Bowen, 1966), ⁵ среднее содержание в гранитах (Григорьев, 2009).

Среднее значение ± стандартная ошибка, аномальные значения элементов при расчете средних значений не учитывались.

На диаграмме направления дифференциации исследуемых гранитов в системе «К – (Th+U)*1000 – Na» видно, что Чжухайские граниты отличаются наибольшим сдвигом в сторону ЕРЭ, Колыванские и Белокурихинские тяготеют к К, граниты Бувуар – к Na (рисунок 4.3).

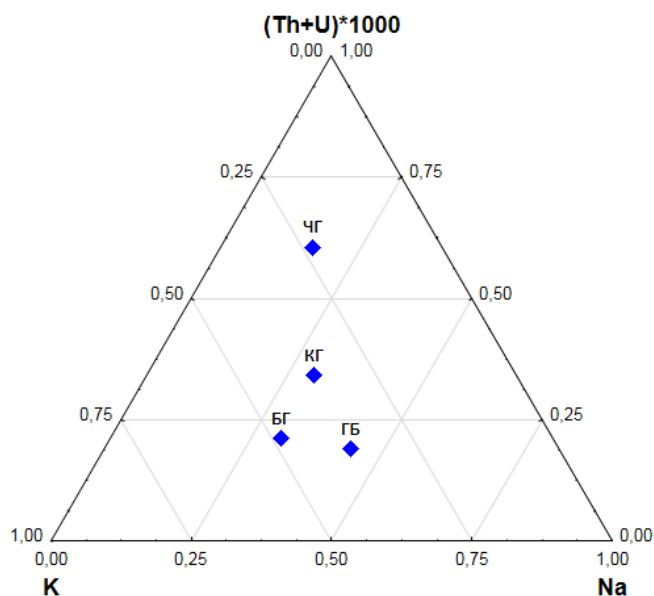


Рисунок 4.3 – Направление дифференциации исследуемых гранитов в системе «К – (Th+U)*1000 – Na». ЧГ – Чжухайские граниты, КГ – Колыванские граниты, БГ – Белокурихинские граниты, ГБ – Граниты Бувуар

4.2. Минералогический состав гранитов, кор выветривания и почв

Минералогический состав изучаемых образцов был проанализирован методами РФА (40 образцов) и СЭМ (97 образцов). Полученные данные показали, что для всех исследуемых гранитов породообразующими минералами являются: кварц, альбит, микроклин, ортоклаз, мусковит и биотит. В колыванских гранитах также присутствует флогопит (таблица 4.5).

Исследуемые граниты подвергались процессу выветривания. В сформировавшихся по ним корах выветривания и почвах по данным РФА наблюдается изменение минералогического состава – образование каолинита, монтмориллонита, иллита, хлорита, вермикулита (во всех образцах), также цеолита (в образцах Белокурихинского и Колыванского массивов), гипса и диккита (в образцах Колыванского массива), гиббсита и гематита (в образцах из провинции Гуандун) (таблица 4.5).

Минералы-концентраторы ЕРЭ и РЗЭ, обнаруженные в исследуемых образцах представлены в таблице 4.6. Отметим, что во всех исследуемых образцах пород и продуктов их выветривания встречаются монацит и циркон (рисунки 4.4, 4.5, 4.6, 4.7).

Таблица 4.5 – Присутствие породообразующих и вторичных минералов в исследуемых образцах по РФА

Район исследования / образец	Граниты	Зона дезинтеграции	Зона дресвы	Глина
Района г. Белокуриха (Алтайский край, Россия)	Кварц Альбит Микроклин Ортоклаз Мусковит Биотит	Кварц Альбит Микроклин Ортоклаз Мусковит Биотит Хлорит Каолинит Иллит	Кварц Альбит Микроклин Ортоклаз Мусковит Биотит Хлорит Каолинит Иллит Монтмориллонит Цеолит	
Район пгт. Колывань (Новосибирская обл., Россия)	Кварц Альбит Микроклин Ортоклаз Мусковит Биотит	Кварц Альбит Микроклин Ортоклаз Мусковит Биотит Флогопит Хлорит Каолинит Иллит	Кварц Альбит Микроклин Ортоклаз Мусковит Биотит Флогопит Цеолит Каолинит Диксит Иллит Монтмориллонит Цеолит Гипс	
Район г. Чжухай (пров. Гуандун, КНР)	Кварц Альбит Микроклин Ортоклаз Мусковит Биотит	Кварц Альбит Микроклин Ортоклаз Мусковит Биотит Каолинит Иллит Гематит	Кварц Альбит Микроклин Ортоклаз Мусковит Биотит Каолинит Иллит Монтмориллонит Хлорит Вермикулит Гиббсит Гематит	
Район г. Эшасьер (рег. Овернь, Франция)	Кварц Альбит Микроклин Ортоклаз Мусковит Биотит	Кварц Альбит Микроклин Ортоклаз Мусковит Биотит Каолинит Иллит	Кварц Альбит Микроклин Ортоклаз Мусковит Биотит Каолинит Иллит Монтмориллонит	

В образцах из района г. Белокуриха были обнаружены микрофазы фосфатов тяжёлых и лёгких редких земель, в том числе лантан-цериевый монацит с

примесью Th и Pr (рисунок 4.4, А) и с примесью U, Th, Pr, Nd и Sm (рисунок 4.4, Б). Также была определена микрофаза ториевого монацита с небольшим процентом Nd (рисунок 4.4, В) и Nd, La, Pr (рисунок 4.4, Г). Выявлено две разновидности циркона: с примесью Hf (рисунок 4.4, Д) и без (рисунок 4.4, Ж).

Таблица 4.6 – Присутствие акцессорных минералов-концентраторов ЕРЭ в исследуемых образцах по данным сканирующей электронной микроскопии

Район исследования / образец	Граниты	Зона дезинтеграции	Зона дресвы	Глина	Почва
Района г. Белокуриха (Алтайский край, Россия)	Лантан-цериевый монацит с U, Th, Pr, Nd, Sm Ториевый монацит с Nd, La, Pr Циркон с примесью Hf		Лантан-цериевый монацит с Th и Pr Ториевый монацит с Nd Циркон		
Район пгт. Колывань (Новосибирская обл., Россия)	Монацит с Th, U, PЗЭ Циркон с Th, U, Sc Лантаноцерит с Th, Pr, Nd Флюоцерит с Th и PЗЭ		Монацит с Th, PЗЭ Циркон Лантаноцерит с Th, Pr, Nd Флюоцерит с Th и PЗЭ		
Район г. Чжухай (пров. Гуандун, Китай)	Монацит с Th, PЗЭ Циркон с Hf, Th, U, Sc Ксенотим с Th, PЗЭ Торит	Монацит с Th, PЗЭ Циркон с Hf, Th, U Ксенотим с Th, PЗЭ	Монацит с Th, PЗЭ Циркон с Ag, Hf, Sc Ксенотим с Th, PЗЭ Плюмбогуммит с Th, La, Nd		
Район г. Эшасьер (рег. Овернь, Франция)	Циркон с Ag, Sc Монацит с PЗЭ		Циркон Монацит с PЗЭ		

Образцы из района пгт. Колывань отличаются наличием микрофаз лантаноцерита (рисунок 4.5, Д) и флюоцерита с примесью PЗЭ и Th (рисунок 4.5, Ж). Также в исследуемых гранитах обнаружены микрофазы монацита с примесью U, Th и PЗЭ (рисунок 4.5, А) и с примесью Th и PЗЭ, без U (рисунок 4.5, Б). Циркон находится в разных фазах: с содержанием ЕРЭ (рисунок 4.5, Г) и без (рисунок 4.5, В).

В образцах из провинции Гуандун идентифицированы микрофазы: монацита с Th и PЗЭ (рисунок 4.6, А, Б); циркона с примесью U, Th, Sc, Hf (рисунок 4.6, В) и с Ag, Hf (рисунок 4.6, Г); ксенотима с Th и PЗЭ (рисунок 4.6, Д, Ж); торита (рисунок 4.6, З). В почве определены микрофазы плюмбогуммита с примесью Th, La и Nd (рисунок 4.6, И), скорее всего образованного при развитии горизонтов кор выветривания и почв, обогащённых растворимыми фосфатами.

В гранитах и почве района г. Эшасьер в регионе Овернь обнаружен циркон с Ag, Sc (рисунок 4.7, А) и монацит с PЗЭ (рисунок 4.7, Б).

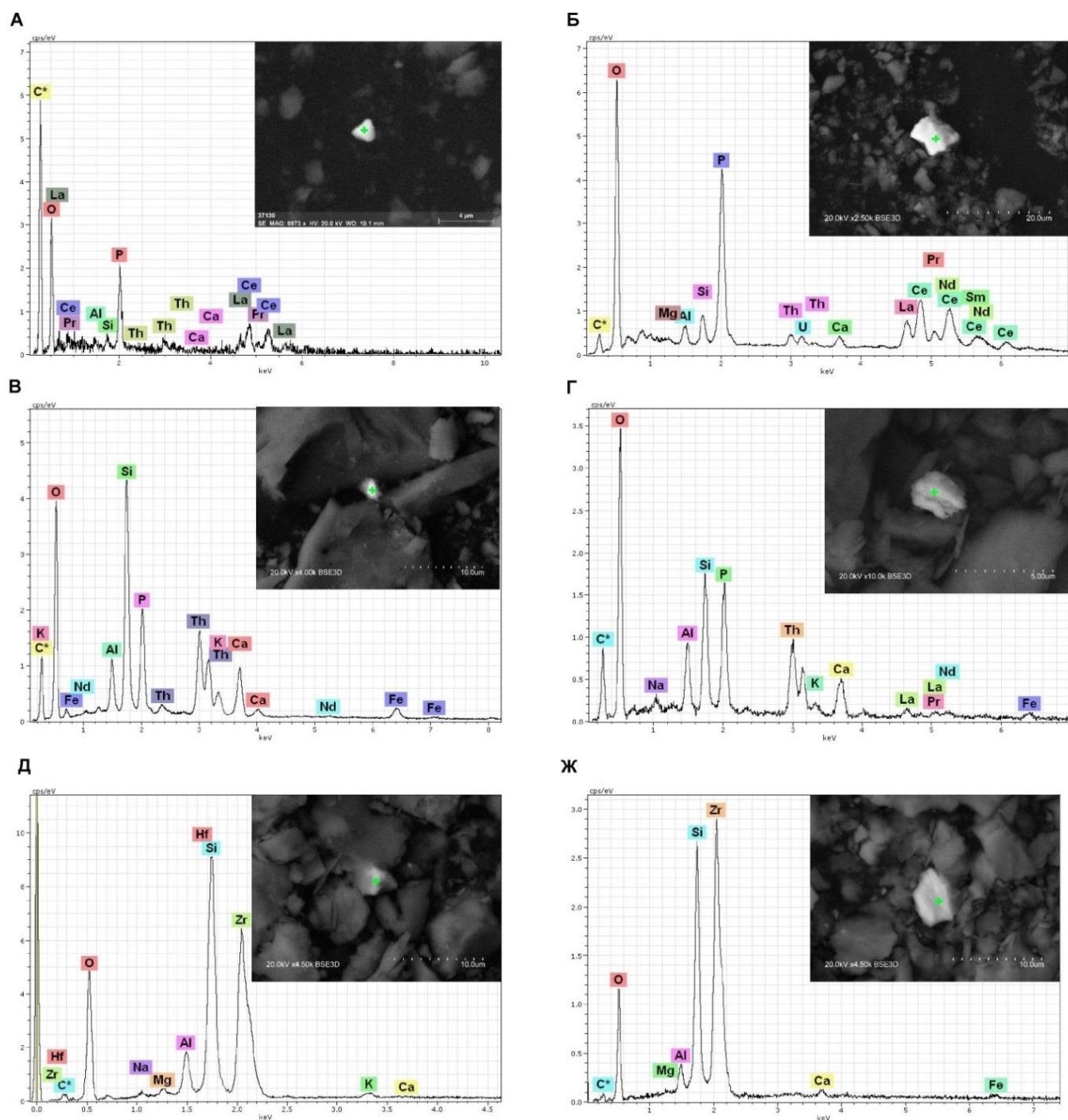


Рисунок 4.4 – Энергодисперсионные спектры и минеральные фазы в образцах гранитов, кор выветривания и почв из района г. Белокурихи в Алтайском крае по данным СЭМ

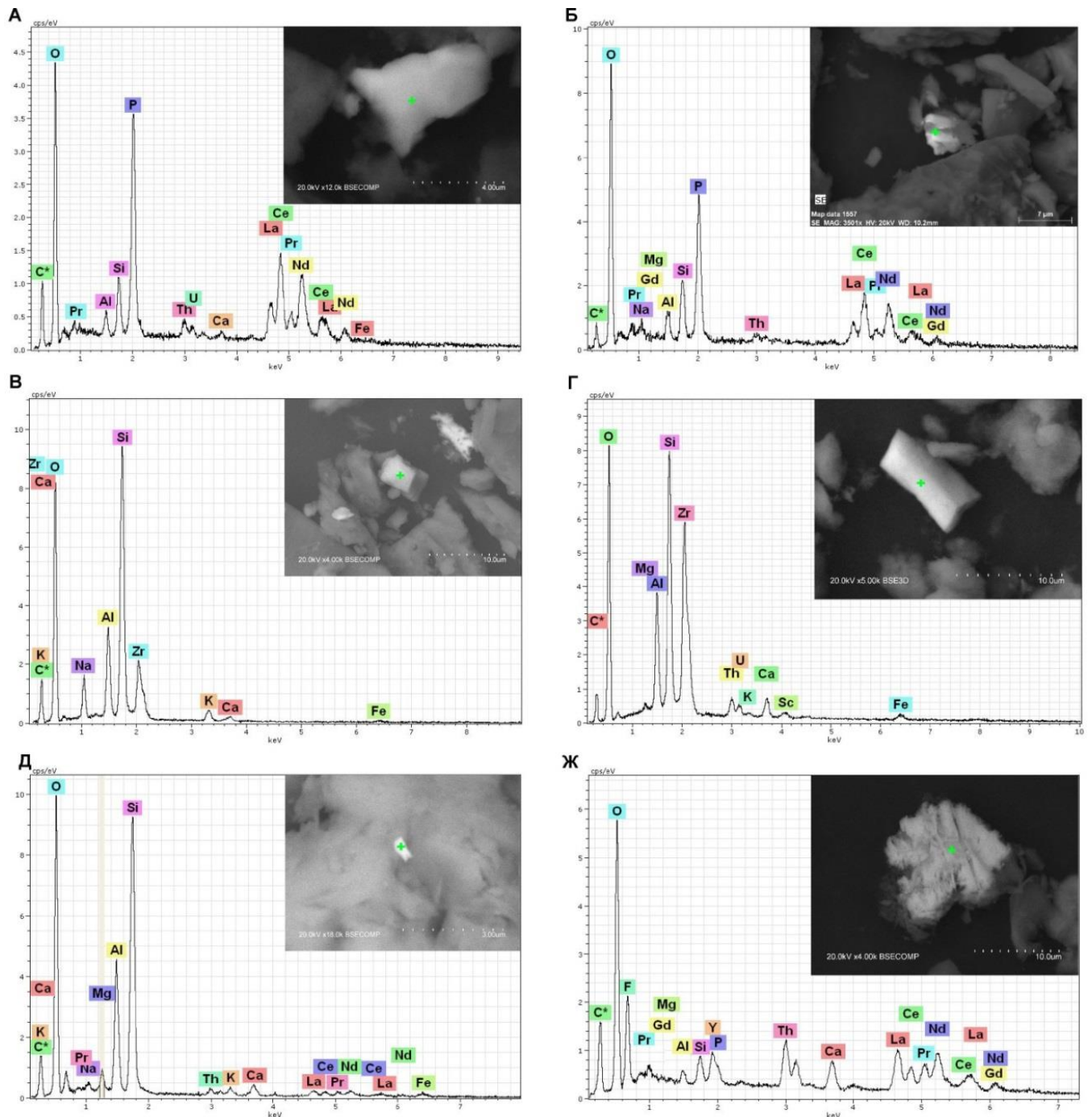


Рисунок 4.5 – Энергодисперсионные спектры и минеральные фазы в образцах гранитов, кор выветривания и почв из района пгт. Колывань в Новосибирской области по данным СЭМ

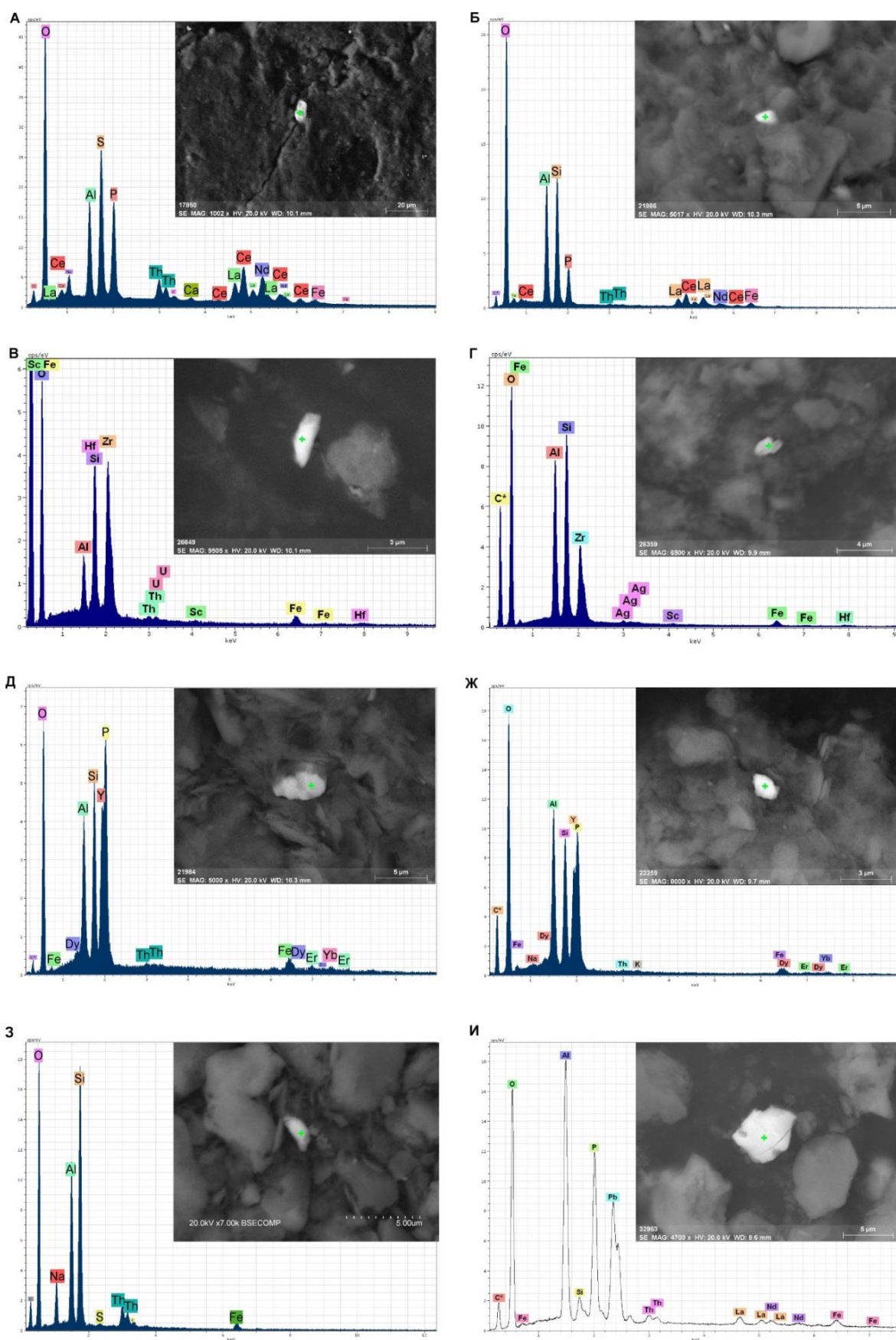


Рисунок 4.6 – Энергодисперсионные спектры и минеральные фазы в образцах гранитов, кор выветривания и почв из района г. Чжухай в провинции Гуандун по данным СЭМ

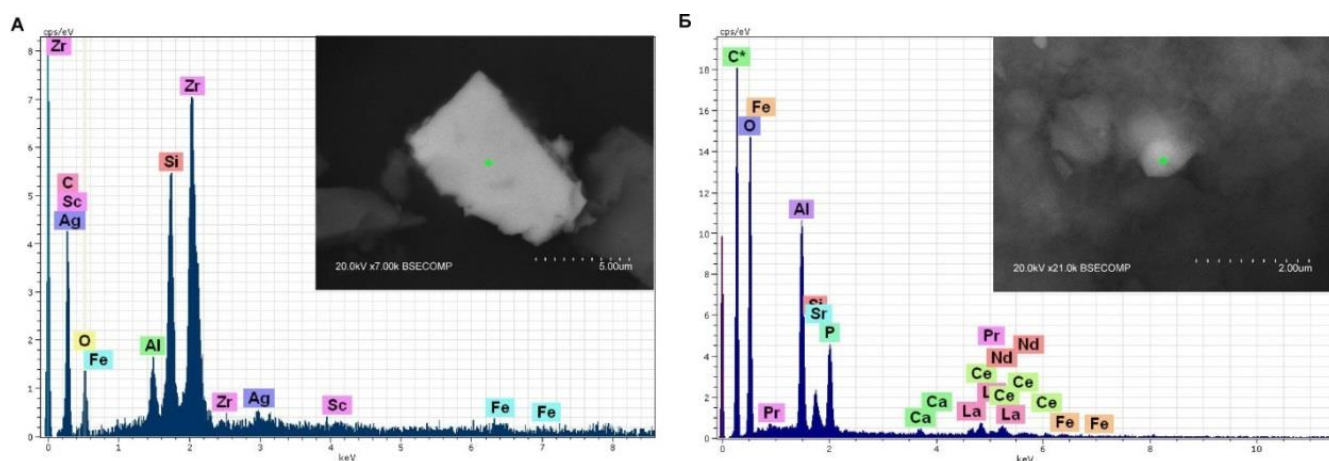


Рисунок 4.7 – Энергодисперсионные спектры и минеральные фазы в образцах гранитов и почв из района г. Эшасьер в регионе Овернь по данным СЭМ

Следует подчеркнуть, что вышеуказанные акцессорные минералы обладают высокой степенью устойчивости, как к физическому, так и к химическому выветриванию, что позволяет корам выветривания и почвам наследовать их из гранитов. Отметим, что минералы-концентраторы U в продуктах выветривания гранитов встречаются довольно редко, их основная концентрация происходит в гранитах.

4.3. Особенности накопления и характер распределения ЕРЭ и РЗЭ по профильным разрезам

Исследуемые породы и продукты их выветривания имеют различные уровни накопления Th и U (рисунок 4.6). Максимум содержания Th и U наблюдается в гранитах района Чжухай в провинции Гуандун. Высокие концентрации ЕРЭ в зоне дезинтеграции характерны для коры выветривания в районе пгт. Колывань. Глина в районе г. Белокуриха имеет высокие концентрации ЕРЭ относительно других исследуемых районов. Максимальный уровень Th в почве наблюдается в провинции Гуандун, U – в районе г. Белокуриха.

В целом, граниты и гранитоиды отличаются высокой радиоактивностью. По оценкам Н.А. Григорьева средние содержания U в гранитах находятся в пределах 3,9 г/т, Th – 18 г/т. Также отмечаются высокие Th/U отношения – 4,6 (Григорьев, 2009).

Содержание естественных радионуклидов в магматических породах зависит от нескольких факторов: принадлежности пород к определённым формациям и различным по щелочности сериям, а также от содержаний кремнезема и калия.

Особенности геохимии ЕРЭ и РЗЭ в процессах выветривания пород и почвообразования изучалось многими авторами (Бурков, 1996; Жмодик, 1984; Черников, 1998; Титаева, 2005; Рихванов, 1997; Арбузов 2011, Росляков и др., 2014 и др.). Установлено, что при формировании кор выветривания происходит перераспределение элементов, способствующее как их выносу, так и накоплению (рисунки 4.7, 4.8, 4.9, 4.10).

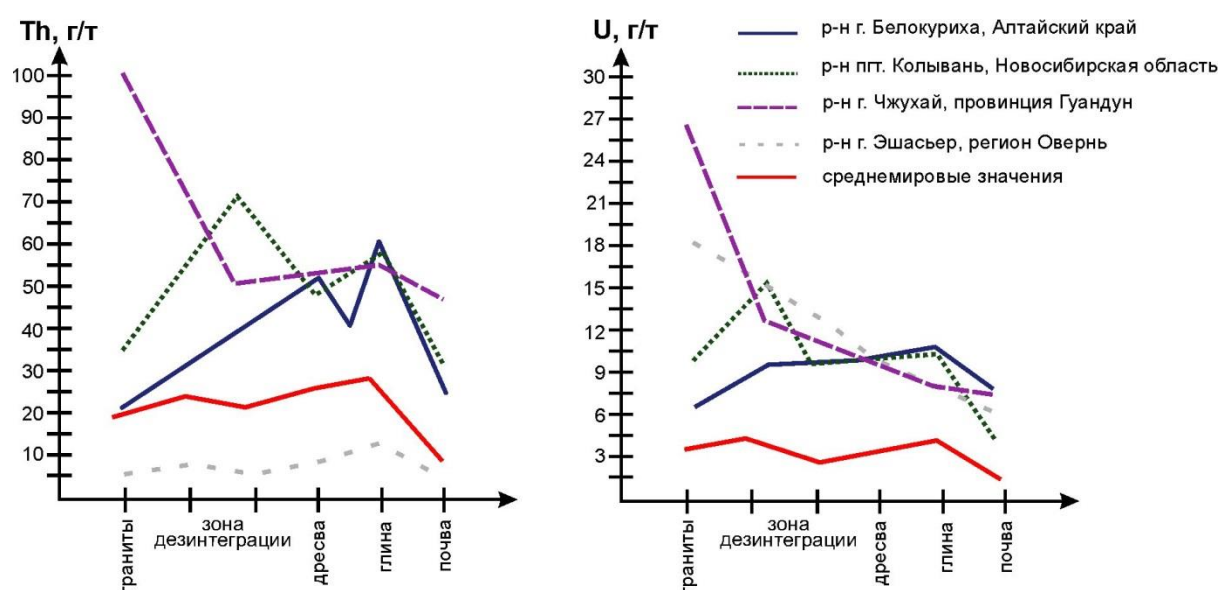


Рисунок 4.6 – Средние концентрации U и Th по профильным разрезам в исследуемых районах. Среднемировые значения взяты из литературных данных (Григорьев, 2009; Bowen, 1966)

При изучении разрезов в исследуемых районах отмечена различная специфика распределения ЕРЭ по профилю. Разный уровень выщелачивания ЕРЭ из горных пород и уровни их накопления в корах выветривания и почвенных горизонтах могут говорить о различных климатических и физико-химических обстановках, в которых формировались данные геологические образования.

В то же время для изучаемых разрезов характерна общая тенденция формирования горизонтов, обогащённых глинистыми минералами (каолинита,

монтмориллонита и др.) – зон дресвы и глины (рисунки 4.7, 4.8, 4.9). Для данных горизонтов кор выветривания в районе г. Белокуриха и пгт. Колывань характерно высокое содержание U – 10,2–11,4 г/т и 4,5–10,6 г/т, соответственно (рисунки 4.7, 4.8).

Кора выветривания в районе г. Белокуриха отличается примитивным типом выветривания, имеющим после первичных гранитов зоны дезинтеграции и дресвы, по которой развивается почва, обогащённая реликтами гранитов: кварц, КПШ, слюды и др. (рисунок 4.7). Кора выветривания такого типа характерна для районов предгорья в умеренном климате (Бурков, 1996).

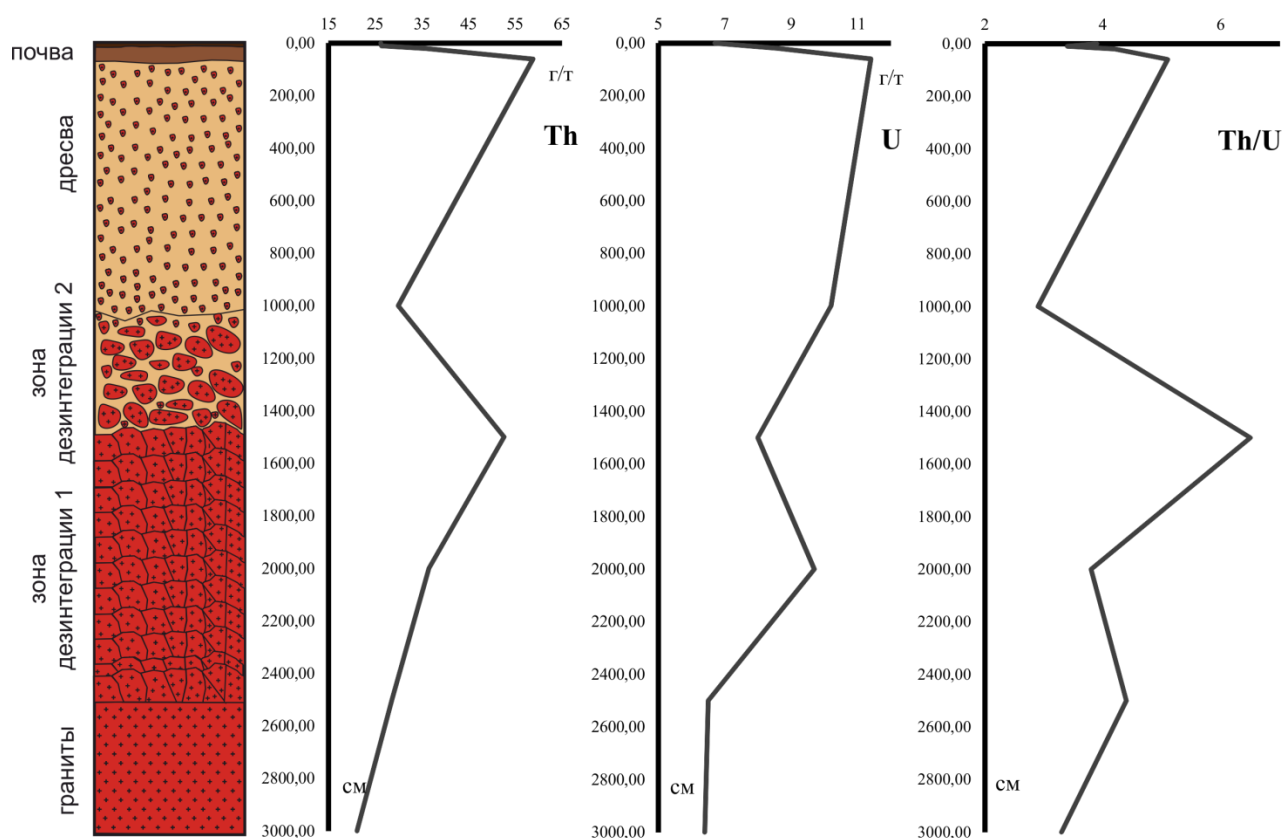


Рисунок 4.7 – Распределение Th, U, Th/U по данным ИНАА в профильном разрезе гранитов, коре выветривания и почве в районе г. Белокуриха, Алтайский край, РФ

Граниты отличаются невысокой концентрацией U и Th, относительно других профильных горизонтов. Можно предположить, что в зоне дезинтеграции происходит вынос Na, Si и других породообразующих элементов, что повышает концентрацию ЕРЭ. В зоне дезинтеграции проявляется дифференциация распределения ЕРЭ. В ходе развития коры выветривания наблюдается накопление

ЕРЭ, максимум которого приходится на зону дресвы. В данной зоне методом РФА помимо породообразующих минералов, были идентифицированы вторичные минералы (каолинит, монтмориллонит и др.). Предположительно, в данном горизонте коры выветривания происходит сорбция Th и особенно U на глинистых минералах. Это согласуется с исследованиями форм нахождения U в корях выветривания другими исследователями (Росляков и др. 2014; Жмодик, 1984).

В почвенных горизонтах содержание радионуклидов падает в связи с нисходящей миграцией воды.

Th/U отношение сильно дифференцировано, максимум (6,5) наблюдается в зоне дезинтеграции пород, минимум (2,9) – в зоне дресвы.

Кора выветривания в районе пгт. Колывань имеет неполный тип, характеризующийся наличием субстрата (гранитов), зоны дезинтеграции и глинистой зоны. При этом латеритная зона отсутствует (рисунок 4.8).

Первичные граниты имеют меньшие концентрации ЕРЭ относительно дезинтегрированных, что может быть следствием выщелачивания из дезинтегрированных гранитов породообразующих элементов (Na, Ca, Si). Это приводит к повышению концентрации ЕРЭ.

В зонах дресвы и каолинизации наблюдается повышение содержания радионуклидов. Здесь важную роль в накоплении ЕРЭ, в большей степени U, играет способность к сорбции на глинистых минералах. В вышележащих глинистых горизонтах и почве установлено понижение концентраций ЕРЭ. Возможно, это объясняется нисходящей миграцией элементов, связанной с почвенными растворами, перемещающимися вниз по профилю.

В целом, Th и U имеют схожее распределение по профилю, за исключением верхних горизонтов коры выветривания, где наблюдается максимум Th/U – 5,4.

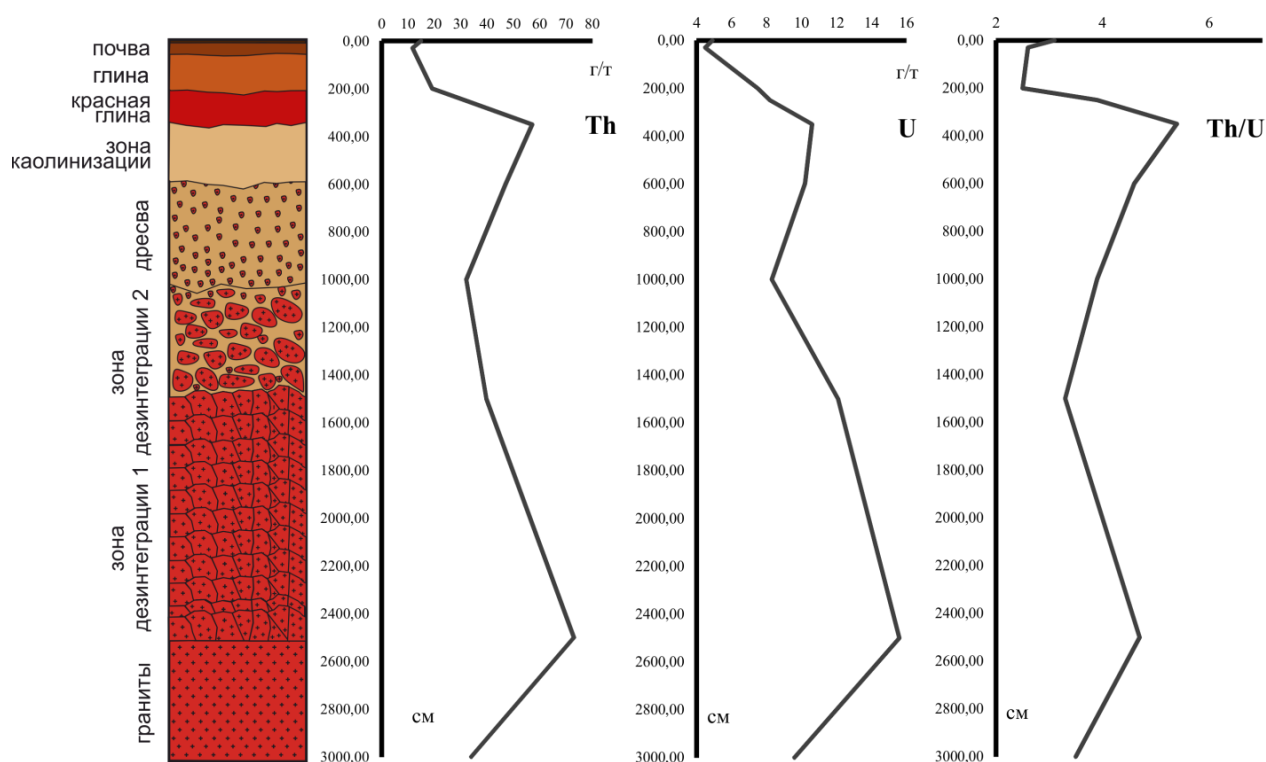


Рисунок 4.8 – Распределение Th, U, Th/U по данным ИНАА в профильном разрезе гранитов, коре выветривания и почве в районе пгт. Колывань, Новосибирская область, РФ

Кора выветривания в провинции Гуандун относится к сокращённому типу, при котором сразу после зоны субстрата идёт латеритная зона (рисунок 4.9).

В разрезе коры выветривания в районе г. Чжухай провинции Гуандун наблюдается большее накопление U в зоне первичных гранитов и нижних горизонтов коры выветривания. Возможно, этот процесс связан с интенсивным промывным режимом при свободном оттоке растворимых продуктов выветривания в условиях гумидного климата, при котором U из латеритной зоны возвращается в нижние горизонты коры выветривания.

Распределение Th, U по профилю почвы свидетельствует о высокой подвижности элементов. Наблюдается аккумуляция U в верхнем почвенном горизонте, затем значительный вынос и интенсивное накопление из почвенных растворов в нижележащих почвенных горизонтах, связанное с повышенным увлажнением, свободным дренажем вод и нисходящей миграцией почвенных растворов (Злобина и др., 2015; Zlobina et al., 2019).

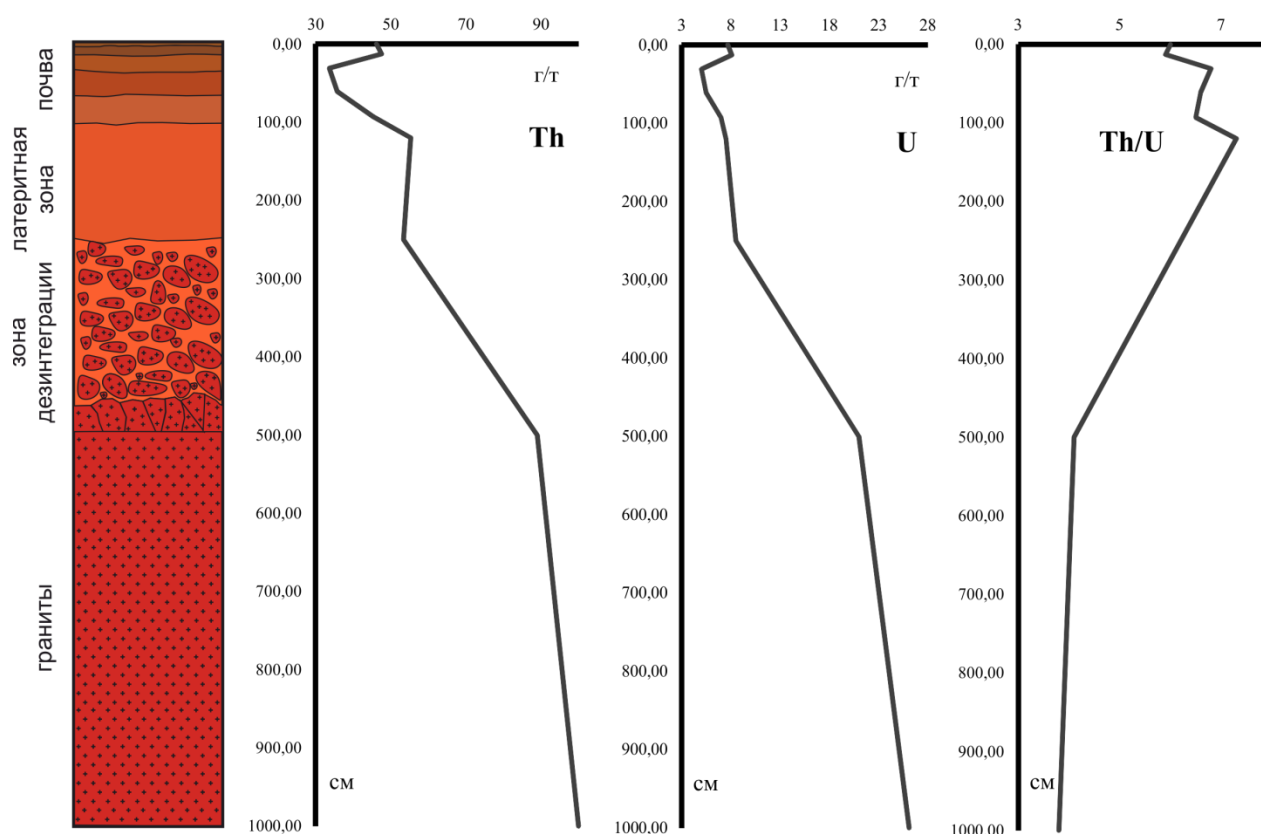


Рисунок 4.9 – Распределение Th, U, Th/U по данным ИНАА в профильном разрезе гранитов, коры выветривания и почв в районе г. Чжухай, провинция Гуандун, Китай

В окислительных условиях U находится преимущественно в форме U(VI) в виде ионов уранила. Эксперименты по выщелачиванию U из почв и глин провинции Гуандун показали, что ионы уранила, находящиеся в почве характеризуются относительно высокой миграционной способностью, поэтому в окислительной обстановке U легко вымывается (Злобина и др., 2012; Злобина и др., 2019; Rikhvanov et al., 2014).

Органические (гумусовые) лиганды способствуют растворению U(IV) даже в восстановительной обстановке, при этом гуминовые кислоты более активны, чем фульвокислоты (Luo et al., 2009). Также вероятно, что пониженное содержание U в верхних прикорневых горизонтах связано с его более высоким, чем у Th, биологическим поглощением.

Th является менее активным мигрантом, чем U, и значительная его часть мигрирует с обломочным материалом и взвесями в процессе выветривания

горных пород и почвообразования. В выветрелых горизонтах основная концентрация Th происходит в элювии. Данный факт согласуется с исследованиями Н.А. Титаевой (Титаева, 2005). В то же время наблюдается способность Th, как и U, концентрироваться в тонкодисперсной фракции кор выветривания (рисунок 4.11).

По разрезу коры выветривания в Гуандун Th/U отношение варьирует от 3,8 до 7,3 (по данным ИНАА), и от 5 до 15 (по результатам гамма-спектрометрии). Высокие значения (>5) характерны для районов с проявлением ториеносных геологических образований. Известно, что отношение Th/U в процессе формирования кор выветривания и почв увеличивается, что указывает на различное поведение U и Th в этих процессах (Арбузов, 2011).

Распределение некоторых РЗЭ в профиле почвы представлено на рисунке 4.10.

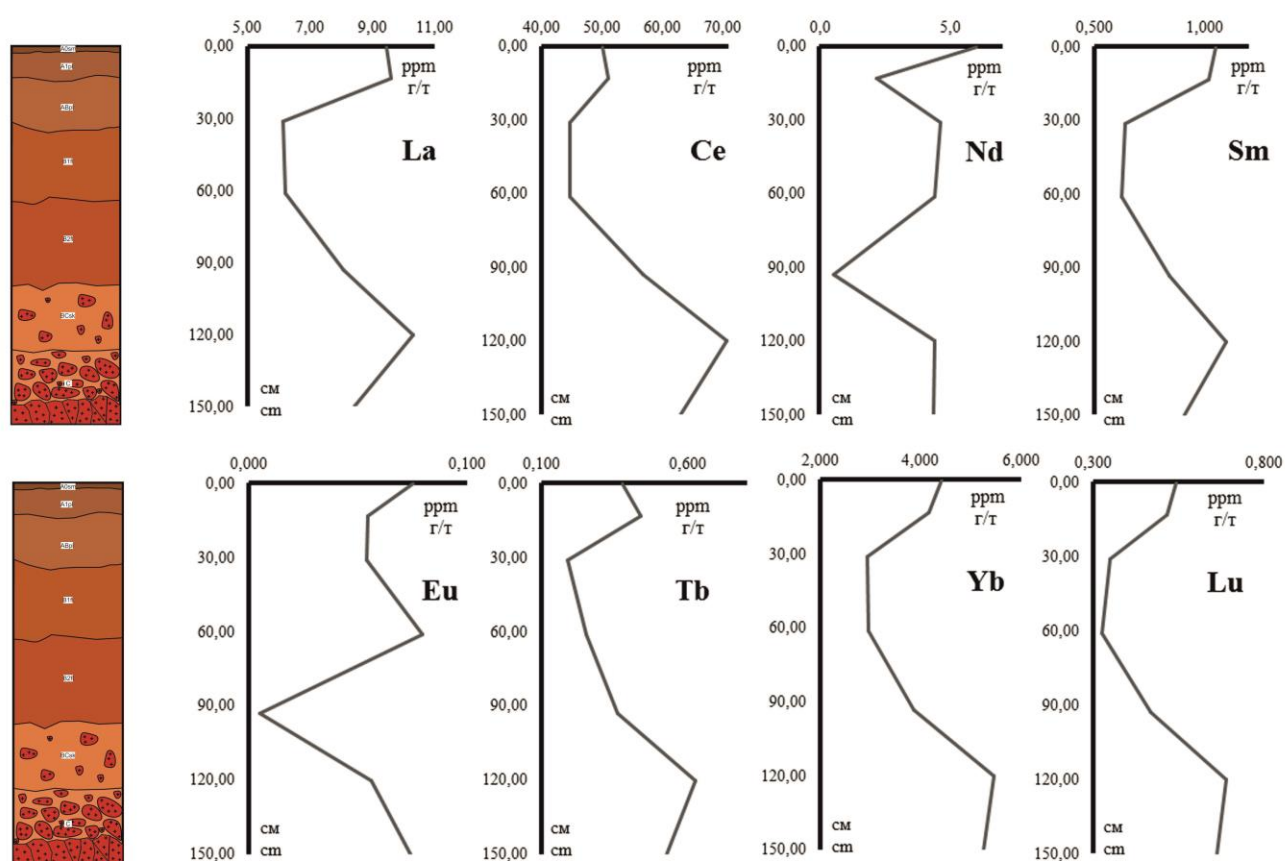


Рисунок 4.10 – Распределение РЗЭ по данным ИНАА в профильном разрезе коры выветривания и почв в районе г. Чжухай, провинция Гуандун, Китай

Отмечается схожее распределение лантаноидов (La, Ce, Sm, Tb, Yb, Lu), обусловленное близостью геохимических свойств элементов. Обращает на себя внимание поведение Nd и Eu: с одной стороны, проявляется сходство характера их распределения, с другой – отличительные особенности поведения в профиле относительно других лантаноидов. Наблюдаются повышенные концентрации Ce и Yb превышающие среднемировые значения по почвам.

4.4. Сорбция U на агрегате тонкодисперсных глинистых частиц

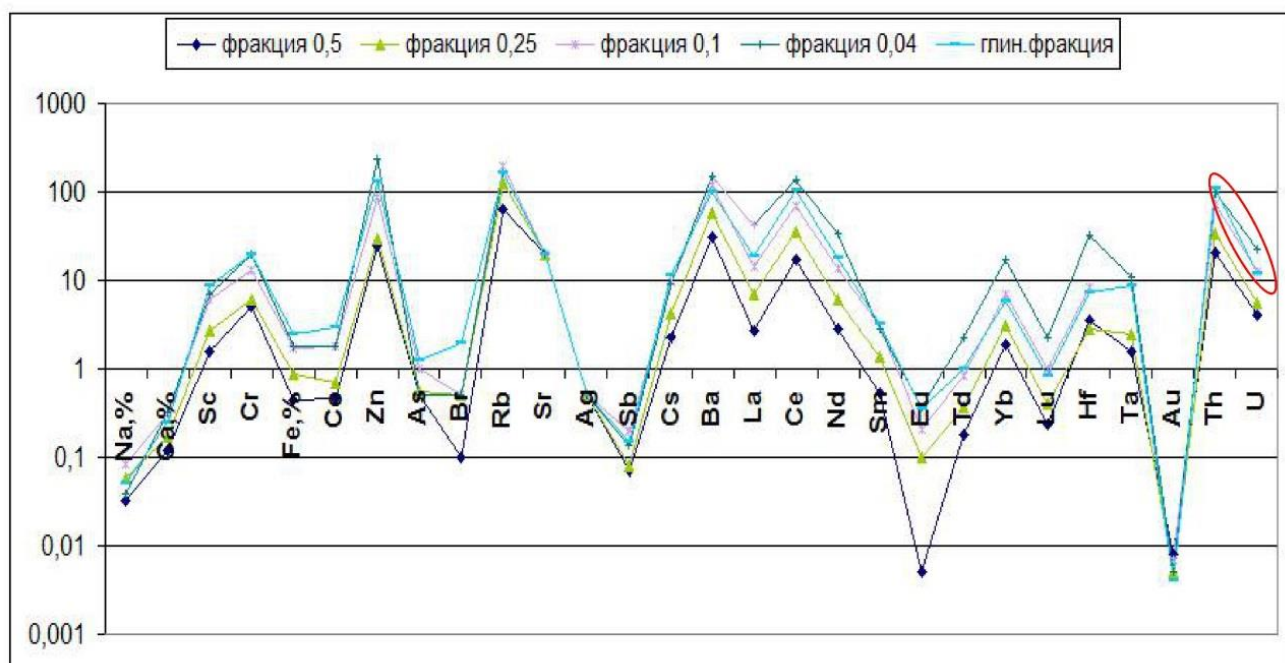
По результатам геохимических исследований отмечено, что U и Th наиболее интенсивно сконцентрированы в зонах глины и дресвы. Минералогической особенностью данных горизонтов является малое количество минералов-концентраторов U. Для выявления форм нахождения ЕРЭ в корках выветривания более детальному анализу была подвержена глинистая составляющая.

По результатам фракционного анализа глинистой составляющей определилась тенденция к наиболее интенсивному накоплению ЕРЭ в тонкодисперсных фракциях (0,04–0,01 мм; < 0,01 мм) (рисунок 4.11).

Возникло предположение о сорбции U на агрегате тонкодисперсных глинистых частиц.

Имеются многочисленные данные о связи содержания радионуклидов в почве с размером и удельной поверхностью почвенных частиц. Для почв с большим содержанием физической глины и ила установлены высокие значения коэффициентов распределения (Luo et al., 2009; Li et al., 2005). По другим данным содержание U в глинистой фракции до 3 раз превышает его концентрацию в нефракционированной почве (Султанбаев, 1974).

А



Б

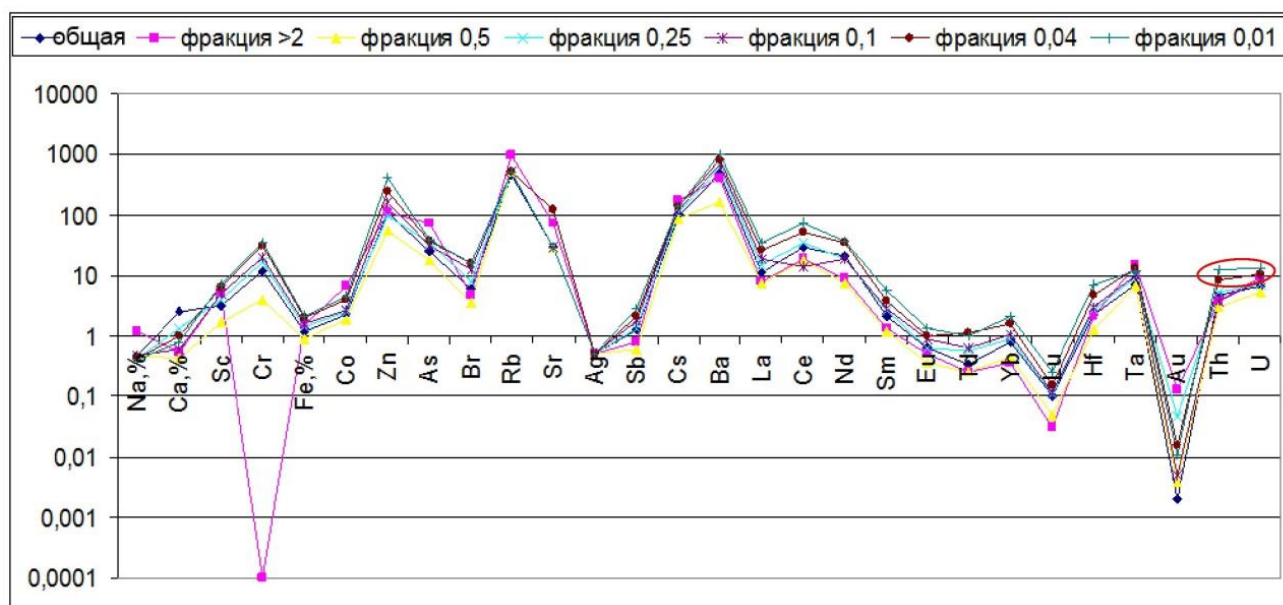


Рисунок 4.11 – Содержание химических элементов в различных фракциях почвы по данным ИНАА (г/т), логарифмическая шкала: А – района г. Чжухай в провинции Гуандун, Б – района г. Эшасьер в регионе Овернь

Дальнейшее изучение глинистой составляющей кор выветривания методом осколочной радиографии показало равномерное распределение треков от деления U по исследуемому образцу (рисунок 4.12). Это свидетельствует о нахождении U в рассеянной форме, вероятнее всего в виде сорбции на глинистых минералах.

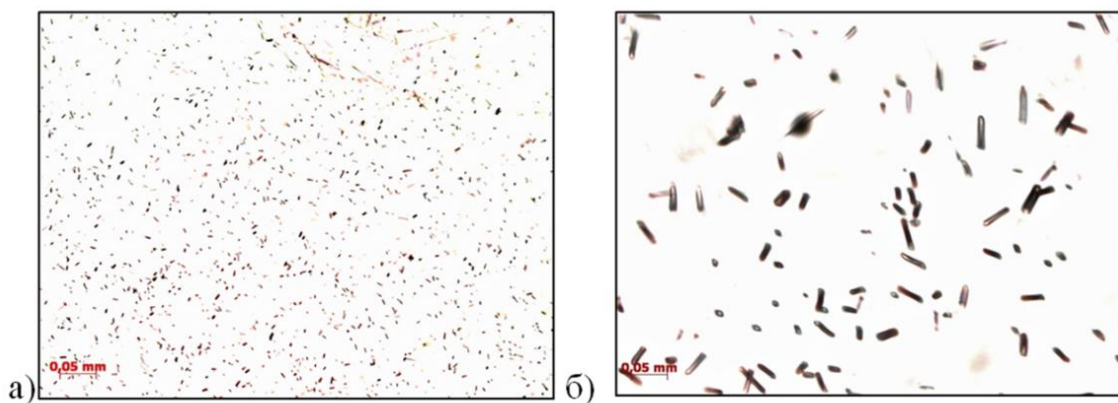


Рисунок 4.12 – Характер распределения урана в исследуемом образце почвы провинции Гуандун по данным f-радиографии. Детектор – слюда: а) увеличение 20х, б) увеличение 90х

4.5 Распределение U (Ra) в процессах выветривания – причина повышенного эманирования Rn

В процессах выветривания гранитов формы нахождения ЕРЭ, в большей степени U, меняются. Элементы становятся более подвижными и сорбируются на глинистых минералах (каолинит, монтмориллонит и др.). Схожие процессы установлены и другими исследователями кор выветривания (Росляков и др. 2014; Жмодик, 1984). Эти процессы способствуют активной миграции Rn к поверхностным горизонтам за счёт диффузии и его повышенной активности (рисунок 4.13).

В исследуемых районах в процессах дезинтеграции гранитов и образования кор выветривания происходит формирование горизонтов, обогащенных U (Ra) – зоны дресвы и глины. Данные горизонты представляют собой мощный генератор свободного ^{222}Rn в атмосферу (рисунок 4.14) (Злобина и др., 2019). ОАР в данных зонах кор выветривания варьирует от 250 до 400 Бк/м³ в районе г. Белокуриха и от 390 до 1000 Бк/м³ в районе пгт. Колывань.

Эксперименты П.С. Микляева показали, что вне геодинамически активных зон радоновое поле формируется за счёт содержания Ra в грунтах, причём дресвяные и глинистые зоны формируют не менее 85 % Rn, выходящего за счёт диффузии в атмосферу (Микляев и др., 2010; Микляев, 2015).

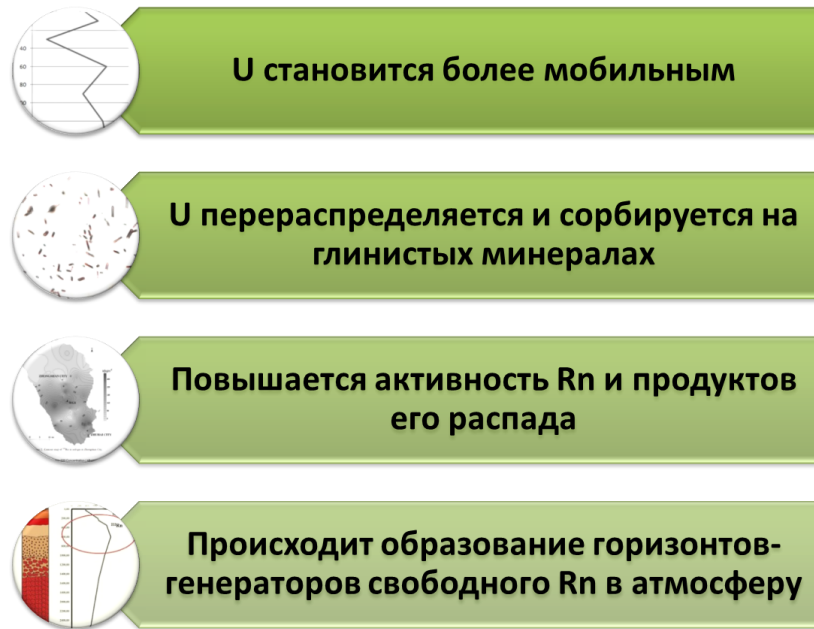


Рисунок 4.13 – Упрощённая схема распределения U в процессах выветривания пород

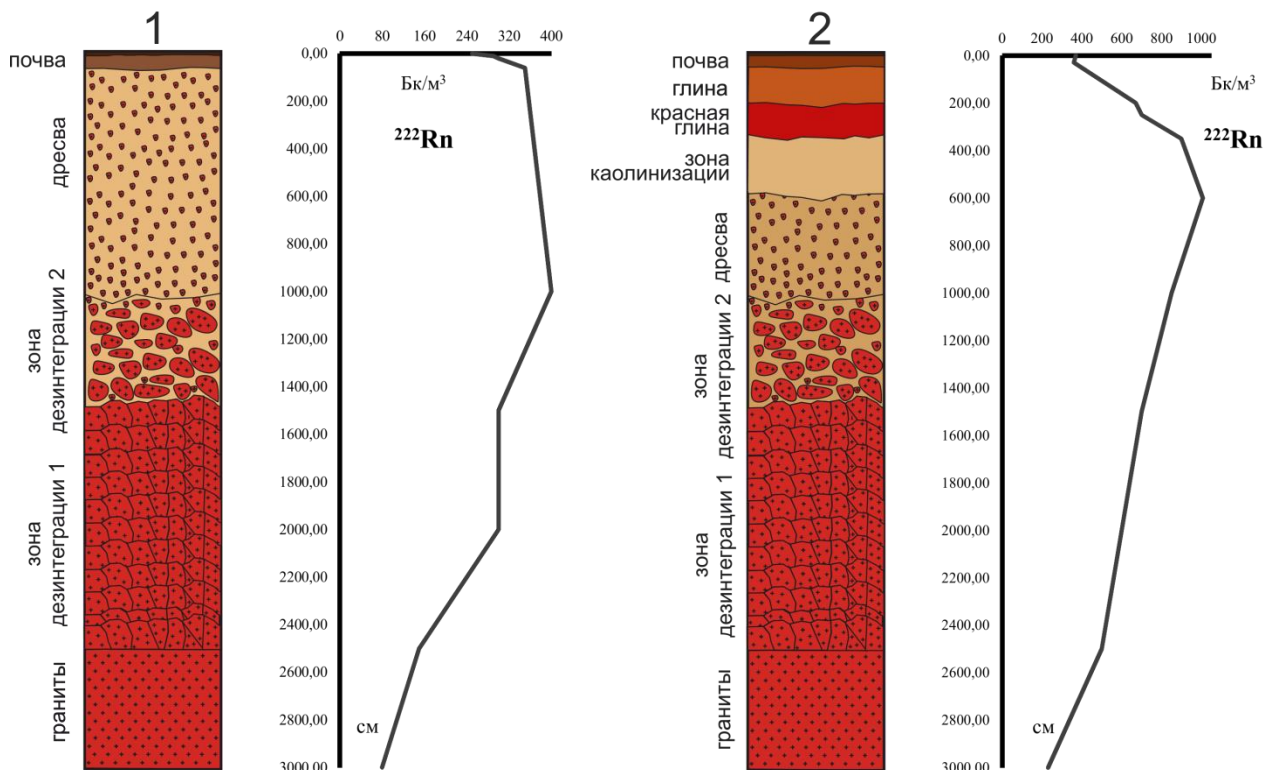


Рисунок 4.14 – Распределение объёмной активности ^{222}Rn в профильном разрезе гранитов, коре выветривания и почве в районах: 1 – г. Белокуриха, Алтайский край; 2 – пгт. Колывань, Новосибирская область. Прибор – радиометр «Альфарад» марки PPA-01M-01

Эманирование грунтов в большей степени зависит от форм нахождения в них Ra (продукта распада U) и микроструктурных особенностей грунтов, присутствием в них частиц размером менее 0,1 мкм. (Микляев и др., 2010; Микляев и др., 2012; Miklyaev et al., 2013; Микляев, 2015).

Также высвобождение U в зоне дезинтеграции гранитов способствует его растворению и накоплению в подземных водах. Этот процесс способствует обогащению вод Ra и Rn (рисунок 4.15).



Рисунок 4.15 – Активность ^{222}Rn в подземных водах исследуемых районов в Бк/л. Верхние значения – максимальные показатели, нижние – минимальные. Данные по р-ну Белокурихи – Казначеев и др. 2011; по р-ну Колывани – Попов, 1994Ф, Пахомов и др., 1994Ф, 2003Ф; по р-ну Чжухай – Chen, 2000.

5 РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА И РАДОНООПАСНОСТЬ ИССЛЕДУЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

С целью определения потенциальной радоноопасности исследуемых территорий было проведено измерение объёмной активности R_n (ОАР). Для получения значения эквивалентной равновесной объёмной активности (ЭРОА) R_n учитывалось, что уровень ОАР в 220 Бк/м^3 равен 100 Бк/м^3 ЭРОА (Методические указания, 2016).

Также были рассчитаны показатели плотности потока R_n (ППР) с поверхности земли и проведено сравнение полученных данных с нормами СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства» (таблица 5.1).

Для оценки степени воздействия ионизирующего излучения на человека были приведены показатели мощности экспозиционной дозы (МЭД), основанной на величине ионизации сухого воздуха при нормальном атмосферном давлении. Для некоторых исследуемых районов также учитывался уровень эффективной эквивалентной дозы (ЭЭД) – величины, используемой как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения человека, его органов и тканей с учетом их радиочувствительности.

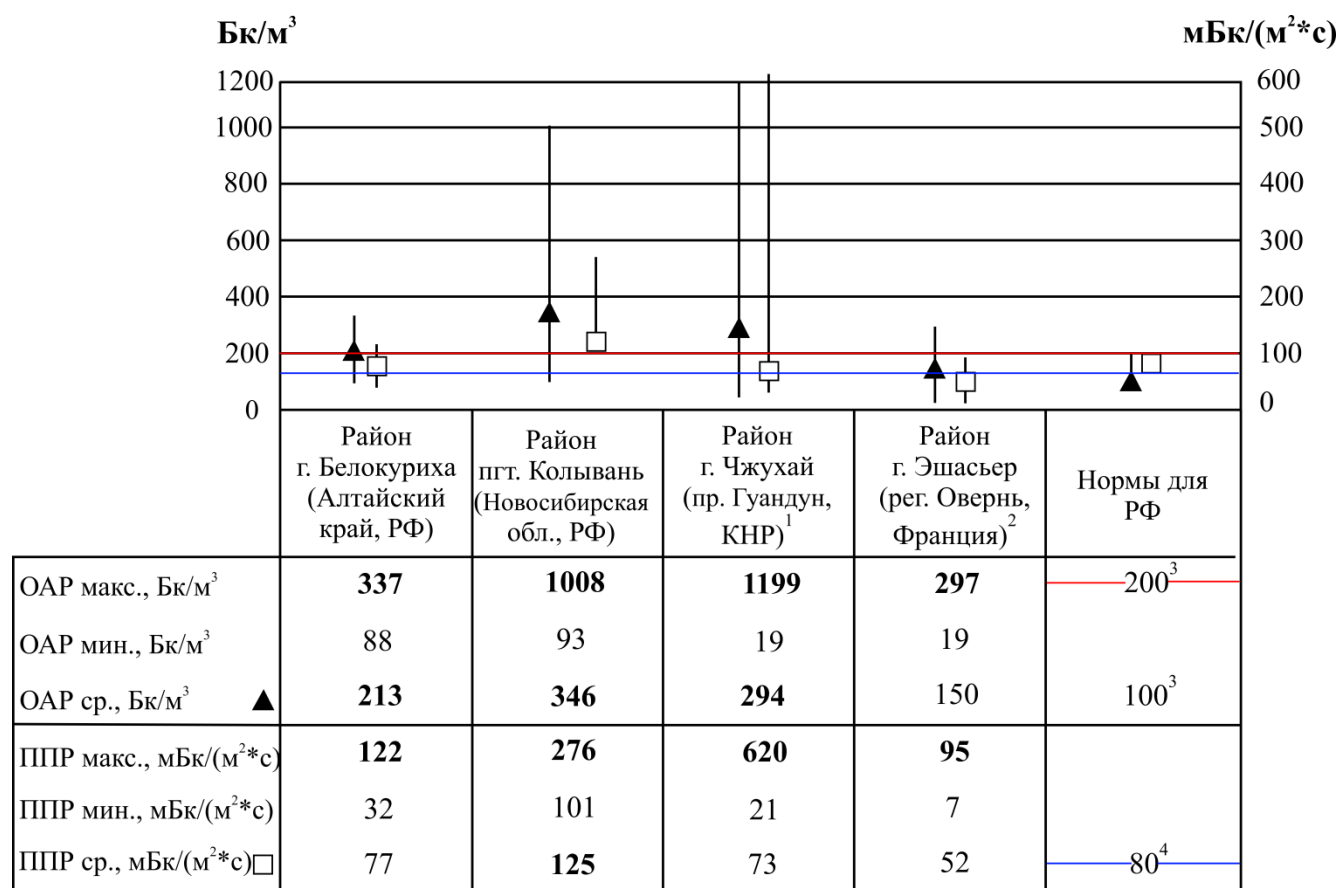
Данные, полученные при помощи прибора радиометра радона «Альфарад» в сентябре 2017 г. в районах г. Белокуриха и пгт. Колывань, а также результаты исследований N. Wang в районе г. Чжухай и S. Billon в районе г. Эшасьер представлены на рисунке 5.1.

Таблица 5.1 – Классы противорадоновой защиты

Средняя ППР на поверхности грунта, мБк/(м ² *с)	Класс требуемой противорадоновой защиты
Менее 80	I. Противорадоновая защита обеспечивается за счет нормативной естественной вентиляции помещений
От 80 до 200	II. Умеренная противорадоновая защита
Более 200	III. Усиленная противорадоновая защита

В целом, средние показания для ОАР во всех исследуемых районах превышают допустимый уровень для РФ в $100\text{--}200\text{ Бк/м}^3$, установленный в НРБ-99. Обычно в наружном воздухе ОАР у поверхности земли составляет в среднем $5\text{--}10\text{ Бк/м}^3$ (рисунок 5.1).

Средние показатели ППР соответствуют уровню $80\text{ мБк/}(\text{кв}2*\text{с})$ для всех исследуемых районов, кроме пгт. Колывань в Новосибирской области (рисунок 5.1). В некоторых точках наблюдаются аномально высокие показания, достигающие $620 \pm 76\text{ мБк/}(\text{м}^2*\text{с})$, в случае района г. Чжухай в Китае.



¹ по данным Wang et al., 2012; ² по данным Billon et al., 2005; ³ нормы радиационной безопасности (НРБ-99); ⁴ СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства»

Рисунок 5.1 – График данных измерений ОАР и расчёта ППР в исследуемых районах

Согласно строительным нормам и правилам СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства», при показателях ППР в $80\text{ мБк/}(\text{м}^2*\text{с})$ на поверхности грунта требуется противорадоновая защита – изоляция поступления Rn (таблица 5.1).

Район г. Белокуриха, Алтайский край. Белокурихинский гранитный массив имеет повышенный гамма-фон – 12–25 мкР/ч, центральная зона (Ульяновский участок) имеет наиболее высокие значения – 170–560 мкР/ч (Пахомов и др., 1994Ф). В городе МЭД достигает 40 мкР/ч (Попов, 1991Ф).

Граниты и продукты их выветривания являются активными продуцентами R_n , поэтому зоны их распространения следует рассматривать, как потенциально радоноопасные (рисунок 5.2).

Значения ОАР в районе исследования варьируют от 88 до 337 Бк/м³, средний уровень – 213 Бк/м³. По результатам комплексной радиоэкологической съёмки территории города экспедицией ГПП «Берёзовгеология» ОАР в почвенном воздухе составляет 1–4 кБк/м³, фиксируются области повышенных значений (10–120 кБк/м³). Показатели ОАР более 50 кБк/м³ локализуются над зонами тектонических нарушений (Пахомов, 1994Ф). Такие зоны находятся в районах ул. Алтайской и ул. Эйхе и др. (Азаев, 2011).

Максимальные показатели ППР в районе города достигают 122 мБк/(м²*с), что превышает норму согласно СП 11-102-97 и требует противорадоновой защиты (таблица 5.1). В некоторых зданиях г. Белокуриха уровень радона R_n превышает норму НРБ-99 – 200 Бк/м³ (Попов, 1991; Попов, 1991).

При вдыхании радонового воздуха в течение года будет создаваться опасная доза на лёгкое (таблица 5.2), превышающая среднемировые значения ЭЭД для человека от естественных источников облучения (2–2,4 мЗв/год).

Таблица 5.2 – Средние концентрации ЭРОА радона и средняя доза на лёгкие (Пахомов, 1994Ф)

Населённый пункт	Значения ЭРОА, Бк/м ³			ЭЭД на лёгкое, мЗв/год
	минимум	максимум	среднее	
г. Белокуриха	22	577	80	4,8
д. Ст. Белокуриха	90	338	158	9,6

В подземных водах, полученных из скважин хозяйственно-питьевого снабжения, зафиксирован U в концентрации 4–9 мкг/л. Наличие разрывных

нарушений в гранитном массиве способствует обогащению этих трещинных вод радионуклидами. В поверхностных водах значения U варьируют от 0,1 до 3,3 мкг/л. В этом случае дополнительным фактором накопления ЕРЭ в водах является процессы дезинтеграции гранитов в условиях выветривания (Попов, 1991Ф). Высокие активности Rn в воде могут вносить заметный вклад в общий радиационный фон жилых помещений.

Радиоактивность скважинной воды в г. Белокуриха находится в пределах 230–445 Бк/л. В некоторых скважинах активность ^{222}Rn в воде превышает 740 Бк/л. Радиоактивность газов, выделяющихся из источников с водой, значительно выше радиоактивности воды и находится в пределах 2430–2700 Бк/л (Казначеев и др. 2011).

Район пгт. Колывань, Новосибирская область. Одни из наиболее высоких показателей ОАР в исследуемых районах выявлены в районе пгт. Колывань в Новосибирской области, значения достигают 1008 ± 202 Бк/м³ (рисунок 5.1). По результатам многолетних исследований ГГП «Берёзовгеология» была выделена Новосибирско-Колыванская потенциально радоноопасная зона, площадью 1,2 тыс. км², в которую входит пгт. Колывань и Колыванский район (рисунок 5.2). Здесь зафиксирована аномальная ОАР в почвенном воздухе – 630–1570 кБк/м³. В зданиях пгт. Колывань также отмечается ЭРОА Rn , превышающие норматив НРБ-99 – 200 Бк/м³ (Попов, 1994Ф; Пахомов и др., 1994Ф, 2003Ф).

Показатели ППР в исследуемом районе варьируют от 101 до 276 мБк/(м²*с). Основываясь на СП 11-102-97, это требует усиленной противорадоновой защиты (таблица 5.1). Высокорадиоактивные граниты Колыванского массива, удельная эффективная активность которых составляет 370–580 Бк/кг, создают повышенный гамма-фон до 35 мкР/ч.

В корях выветривания гранитов, зонах трещиноватости и повышенной проницаемости Колыванского гранитного массива формируются воды с высокой концентрацией U – $5,4 \cdot 10^{-4}$ г/л и Ra – $1-7,4 \cdot 10^{-4}$ г/л, что превышает норматив НРБ-99 (Росляков и др., 2013). Вода также обогащена ^{222}Rn – 10000–45700 Бк/л (Попов, 1994Ф; Пахомов и др., 1994Ф, 2003Ф).

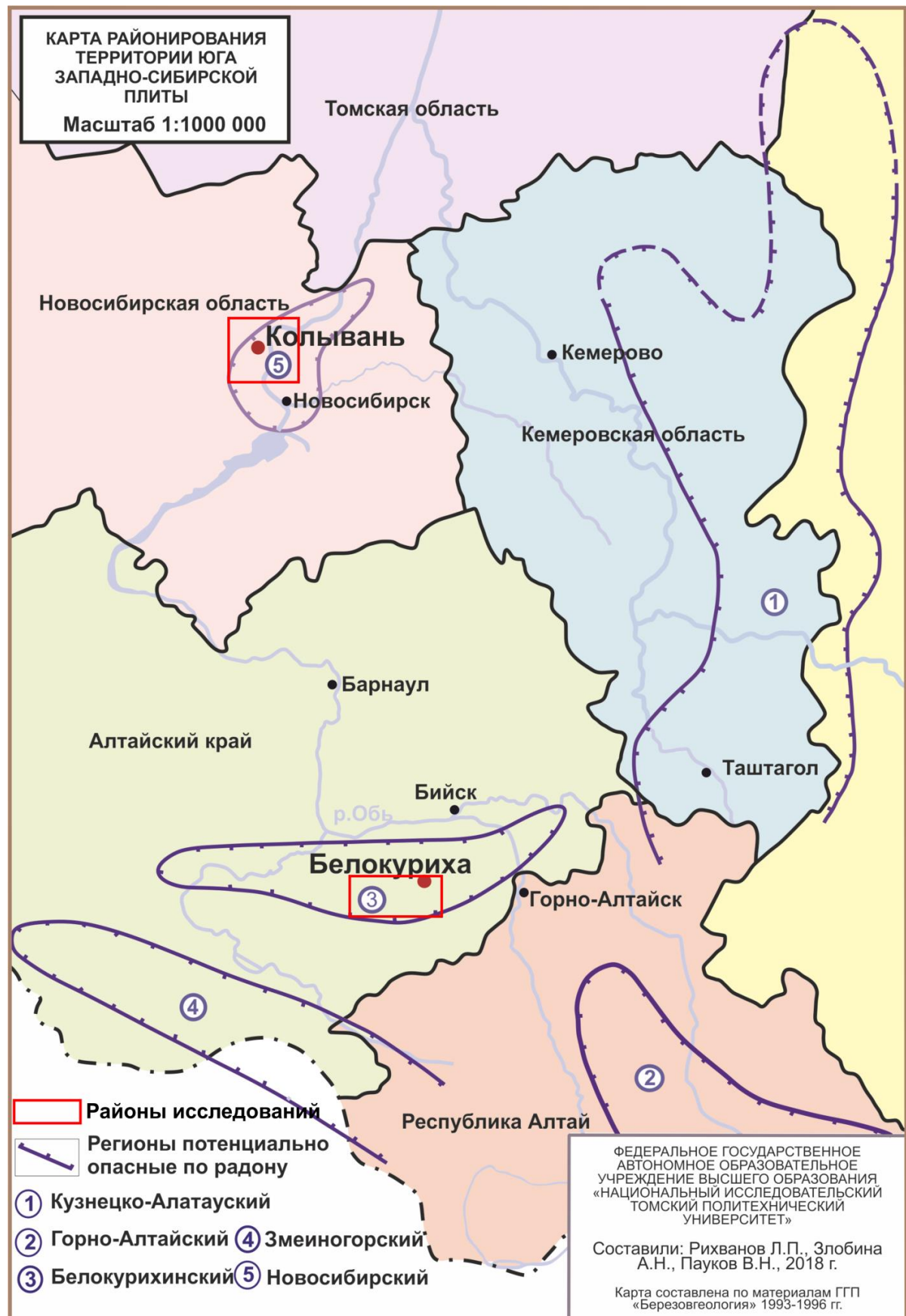


Рисунок 5.2 – Карта радоноопасных районов на территории юга Западно-Сибирской плиты по данным материалов ГГП «Березовгеология». Масштаб 1:1000000

Район г. Чжухай, провинция Гуандун, Китай. Среднее значение ОАР в почвенном воздухе в пределах г. Чжухай в провинции Гуандун составляет 294 Бк/м³, также зафиксированы локальные аномалии – более 1000 кБк/м³ (Wang, 2012). ОАР в воздухе помещений варьирует от 18 до 960 кБк/м³. Газ в помещения поступает из почвы, подземной воды, обогащенной Rn и строительных материалов, с высокой концентрацией U и Th (Chen, 2005).

На основе данных N. Wang был рассчитан ППР в районе г. Чжухай, средний уровень которого составил 73 ± 10 мБк/(м²*с), однако в некоторых районах ППР достигает 620 ± 76 мБк/(м²*с).

Концентрация ²²²Rn в грунтовых водах, которые используются в бытовых целях, находится в пределах 1300–1980 Бк/л (Chen, 2000).

Среднее значение поглощенной дозы составляет 178,2 нГр/ч, максимальные – 266 нГр/ч (рисунок 5.3), что превышает рекомендуемое среднее значение – 80 нГр/ч по норме НКДАР ООН (Wang, 2012; UNSCEAR, 1993).

Дополнительным фактором радиационной нагрузки на местное население в г. Чжухай может служить высокая активность торона (²²⁰Rn или Tn) – дочернего продукта ²³²Th. Период полураспада ²²⁰Rn составляет 55 секунд, поэтому он, как правило, не представляет радиозэкологической опасности. Однако в южно-китайских провинциях за счёт распространения высокоториеносных пород (Th – 100 г/т) и почв (Th – 45,3 г/т), а также использования в строительстве местной глины (Th – 53,4 г/т) и щебня (рисунок 5.4), наблюдается аномальная активность ²²⁰Rn – до 461 кБк/м³ (рисунок 5.5).

²²⁰Rn, как радиозэкологическому фактору уделяется меньше внимания, чем ²²²Rn, однако ряд ученых относят ²²⁰Rn и продукты его распада, в том числе альфа-излучатель ²¹⁶Po и бета-активные нуклиды ²¹²Pb, ²¹²Bi и ²⁰⁸Tl к факторам радиационного риска, особенно в помещениях, построенных из материала, обогащённого ²³²Th (Cinelli et al., 2015; Akiba et al., 2010).

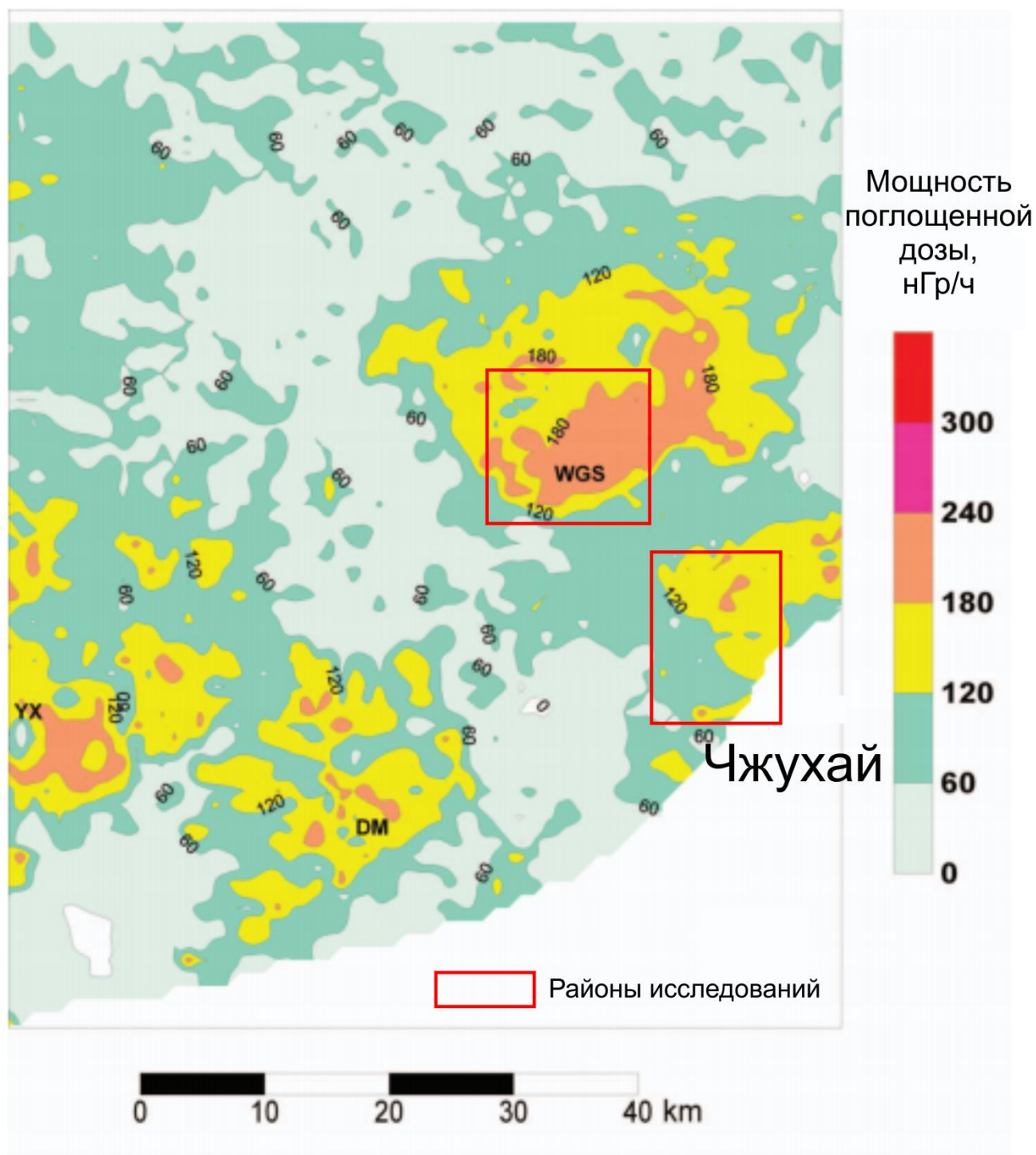


Рисунок 5.3 – Мощность поглощенной дозы в пределах городского округа Чжухай, провинция Гуандун, Китай (Wang et al., 2012) с дополнениями автора



Рисунок 5.4 – Процесс заготовки материалов из местной глины для строительства в г. Чжухай, провинция Гуандун, Китай (Wang et al., 2012)

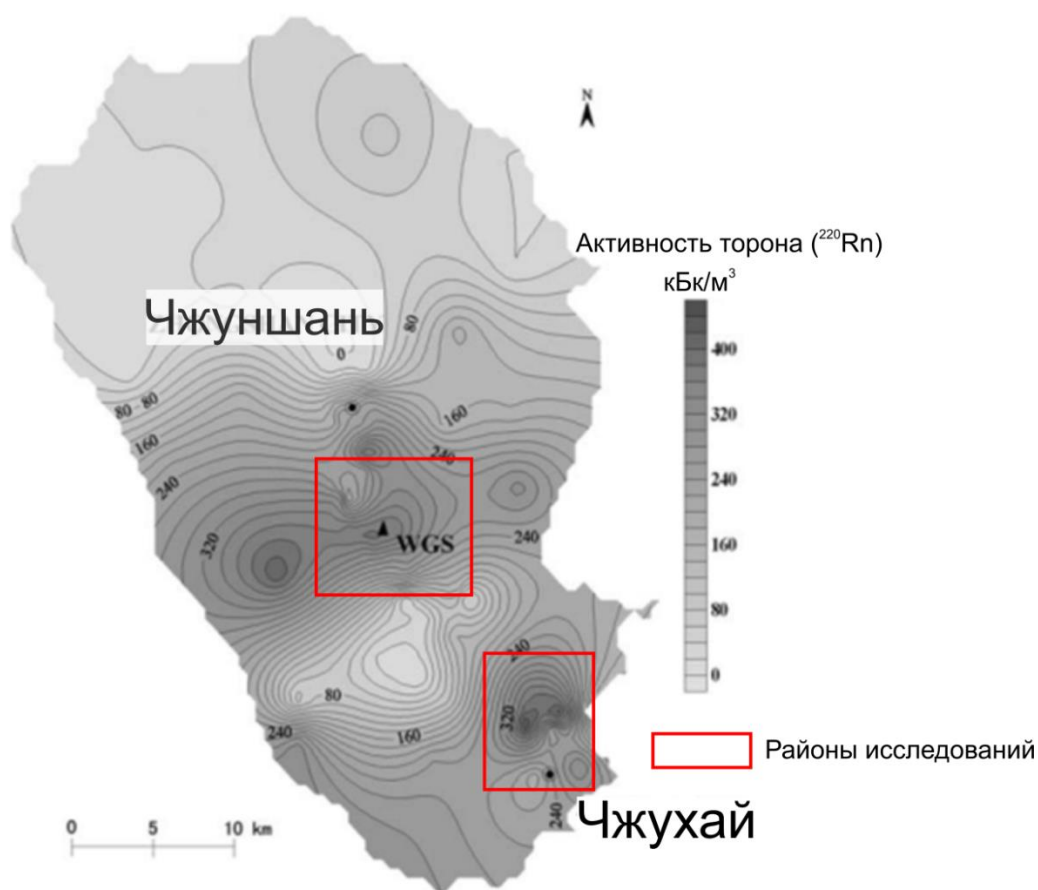


Рисунок 5.5 – Активность ^{220}Rn в почвенном воздухе в пределах городского округа Чжухай, провинция Гуандун, Китай (Wang et al., 2012) с дополнениями автора

Район 2. Эшасьер, регион Овернь, Франция. В целом, более 40% территории региона Овернь имеет средний уровень радоноопасности, более 30% – высокий уровень (рисунок 5.6). ОАР варьирует от 19 до 297 Бк/м³, однако в зонах распространения ураноносных пород, зон разломов и некоторых термальных вод показатели достигают 70 кБк/м³ (Gal, 2011). Значения ППР в исследуемом районе находится в пределах 52–95 мБк/(м²*с) (рисунок 5.1). Мощность поглощенной дозы составляет 80–200 нГр/ч. Эти показатели превышают средний уровень для французских регионов и рекомендуемую норму – 80 нГр/ч (Warnery, 2015).

По данным геохимического атласа Европы концентрация Th в поверхностных водах региона Овернь варьирует от 0,009 до 0,110 мкг/л, U – 0,04–1,5 мкг/л (Geochemical Atlas, 2015).

В целом, в исследуемых районах отмечена напряжённая радиоэкологическая обстановка, связанная с:

- 1) геологическими образованиями, сложенными высокорadioактивными гранитами, специализированными на U и Th;
- 2) зонами интенсивного выветривания гранитов, что способствует увеличению активности Rn;
- 3) наличием радиоактивных аномалий и рудопроявлений U;
- 4) распространением подземных вод с высоким содержанием Th, U, Ra, Rn и использованием таких вод в быту;
- 5) интенсивной эксхалацией (плотностью потока) ²²²Rn с поверхности;
- 6) областями повышенного эманирования ²²²Rn;
- 7) высокой активностью торона (²²⁰Rn) за счёт распространения ториеносных пород;
- 8) использованием строительных материалов с повышенной концентрацией ЕРЭ;
- 9) значениями МЭД и ЭЭД, превышающими норму НКДАР ООН.

В совокупности вышеперечисленные факторы создают ряд медико-биологических проблем у населения, проживающего в исследуемых районах.

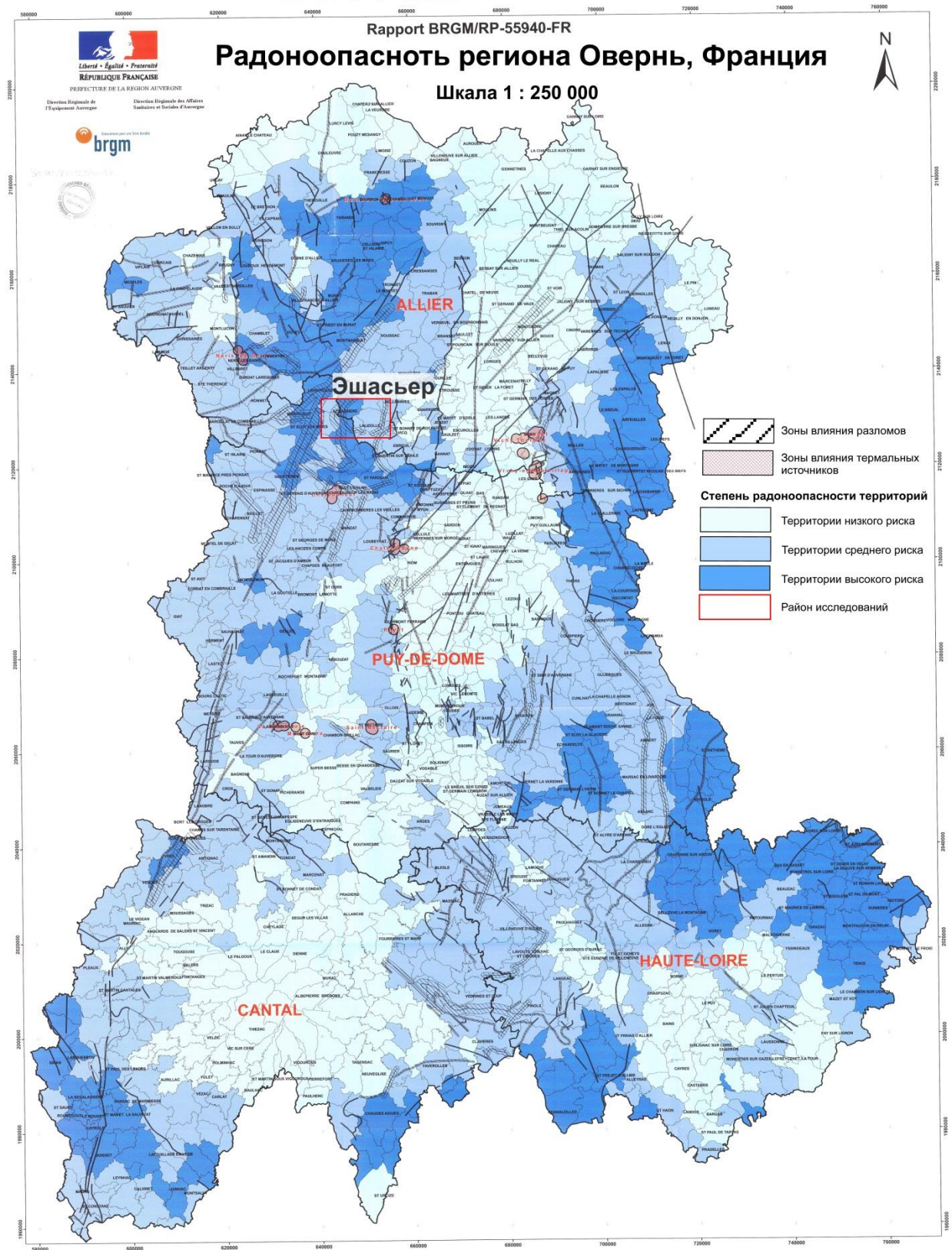


Рисунок 5.6 – Карта радоноопасности региона Овернь, Франция (Cartographie..., 2007) с дополнениями автора

6 ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ В РАЙОНАХ С ВЫСОКОЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИАЦИОННОЙ НАГРУЗКОЙ

Среди агентов, действующих на организм человека, ионизирующее излучение занимает особое место, в связи с его большой проникающей способностью и способом разрушения клеток. Особенно явные эффекты наблюдаются у населения, проживающего в районах распространения высокорadioактивных пород.

Опасность высоких концентраций ЕРЭ в породах обусловлена их тесной связью с повышением активностей Rn в почвенной атмосфере, подземных водах и воздухе помещений.

Помимо влияния канцерогенного Rn на здоровье населения, фактором риска может выступать участие ЕРЭ в трофических цепях (рисунок 6.1). Повышение уровня общего радиационного фона может отрицательно сказываться на здоровье и эпидемиологическом статусе населения.

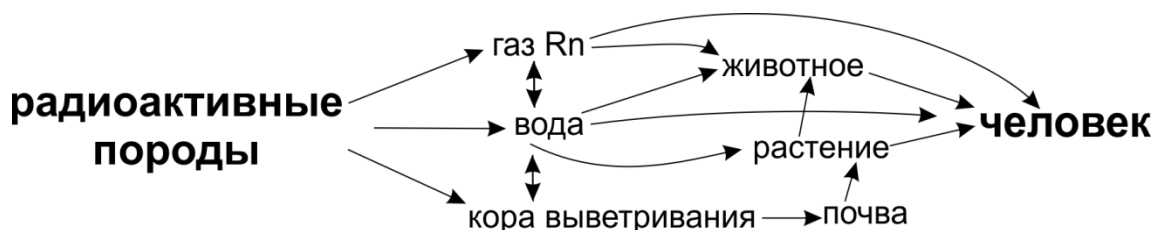


Рисунок 6.1 – Схема поступления ЕРЭ и продуктов их распада в организм человека

В районах исследования для анализа показателей здоровья населения были использованы статистические данные по заболеваемости ЗНО лёгкого, носоглотки, кроветворной ткани (лейкоз), а также анемиями и ВПР.

Обобщающим показателем уровня заболеваемости населения является показатель числа зарегистрированных пациентов с впервые установленным диагнозом на 100 тыс. человек ($^0/_{0000}$).

Доказано, что радиация имеет более высокий уровень воздействия на детей, чем на взрослых (UNSCEAR, 1993; UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2009). В связи с этим приведены показатели первичной заболеваемости для различных возрастных групп населения (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Сводная таблица показателей заболеваемости ($^0/_{0000}$) за 2010 – 2017 гг. в районах повышенного радиоэкологического риска

Показатель заболеваемости на 100 тыс. населения ($^0/_{0000}$)	Белокуриха, Алтайский край, РФ	Колывань, Новосибирская обл., РФ	Пров. Гуандун, Китай	Регион Овернь, Франция	Средний показатель по РФ	Мировой стандарт
Первичная заболеваемость ЗНО у всего населения	451	420	250 ⁴	615 ⁷	408 ^{12, 14}	242 ⁵
Первичная заболеваемость ЗНО у детей от 0 до 14 лет	36	52	20 ⁴	15 ⁸	13 ¹²	13 ¹²
Первичная заболеваемость ЗНО у взрослого населения от 18 лет	590	3 334	591 ⁴	н.д.	2400 ^{12, 14}	н.д.
Первичная заболеваемость ЗНО лёгкого у всего населения	33	352	45 ⁴	63 ⁷	41 ¹²	24 ⁵
Первичная заболеваемость ЗНО носоглотки у всего населения	7	5	11 ⁴ – 25 ¹⁶	4 ⁷	5 ¹²	1-2 ^{5,15}
Первичная заболеваемость ЗНО кроветворной ткани у всего населения	20	216	6 ¹⁸	17 ⁹	19 ¹²	14 ⁵
Первичная заболеваемость ЗНО кроветворной ткани у детей от 0 до 14 лет	7	52	3,2 ¹⁹	4,2 ⁸	3,7 ²⁰	3,8 ²⁰
Первичная заболеваемость анемиями у детей от 0 до 14 лет	1500 ¹	2 686 ³	1030 ⁶	н.д.	≈ 2 267 ¹²	≈ 3600 ¹¹
Первичная заболеваемость анемиями у взрослого населения от 18 лет	566 ¹	446 ³	1107 ⁶	н.д.	≈ 601 ¹²	≈ 1250 ¹¹
Показатели врождённых аномалий у детей до 18 лет	300 ²	897	374 - 1129 ¹⁷	н.д.	≈ 632 ¹⁰	≈ 600 ¹³

н.д. - нет данных; ¹ Доклад, 2017; ² Социально-гигиенический паспорт, 2017; ³ Государственный доклад, 2015; ⁴ Meng et al., 2016; ⁵ Jemal et al., 2014; ⁶ Xu et al., 2004; ⁷ Le cancer en Auvergne, 2015; ⁸ Isfan et al., 2007; ⁹ Atlas de la mortalité, 2012; ¹⁰ Демикова и др., 2015; ¹¹ Worldwide prevalence of anaemia, 2008; ¹² Злокачественные новообразования в России, 2018; ¹³ Hoffman et al., 2002; ¹⁴ Salem, 2006; ¹⁵ Tang et al., 2016; ¹⁶ Ho, 2017; ¹⁷ Qu et al., 2016; ¹⁸ Chen et al., 2018; ¹⁹ Ma et al., 2008; ²⁰ Аксель и др., 2009

При сопоставлении первичных показателей заболеваемости ЗНО у всех групп населения с российскими и мировыми показателями отмечаются превышения уровня заболеваемости во всех исследуемых районах.

Белокуриха, Алтайский край. При сопоставлении первичных показателей заболеваемости ЗНО в г. Белокуриха с общероссийскими и мировыми показателями отмечаются превышения уровня заболеваемости у детей (от 0 до 14 лет) в 2,8 раза. В 2015 году отмечается высокая детская заболеваемость ЗНО кроветворной ткани – 7 ‰, что выше среднероссийских показателей в 2 раза. В 2015 году уровень заболеваемости ЗНО головного мозга у детей от 0 до 14 лет составил 35 ‰, всероссийский стандарт – 2,1 ‰ (Аксель и др., 2009).

Согласно докладу «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Алтайском крае в 2016 году» Белокуриха отнесена к территориям «риска» относительно краевых значений по показателям заболеваемости органов дыхания (бронхитом, астмой и др.), крови и кроветворных органов (анемии и др.), инсулинзависимым сахарным диабетом первого типа и первичной инвалидности детей (Доклад..., 2017).

Снижение качества окружающей среды (загрязнение атмосферного воздуха, питьевых вод и др.) создаёт опасность неинфекционной заболеваемости. Однако, в Белокурихе в 2014–2016 гг. наблюдался низкий уровень загрязнения атмосферного воздуха, соответствующий гигиеническим нормам. Качество питьевой воды в Белокурихе соответствует санитарно-эпидемиологическим требованиям (Социально-гигиенический паспорт..., 2017). В то же время отмечено, что в некоторых скважинах активность Rn в воде превышает 740 Бк/л. Радиоактивность газов, выделяющихся из источников с водой, значительно выше радиоактивности воды и находится в пределах 2430–2700 Бк/л (Казначеев и др. 2011). В связи этим, можно предположить, что основным фактором риска заболеваемости кроветворных органов, органов дыхания и ЗНО в Белокурихе могут служить повышенные ОАР (рисунок 5.1), радиоактивность подземных вод, используемых в быту, и МЭД до 40 мкР/ч.

Колывань, Новосибирская область. Первичная заболеваемость ЗНО у детей (от 0 до 14 лет) и взрослых (от 18 лет и старше) в пгт. Колывань Новосибирской области больше в 4 и 1,5 раза показателей по РФ, соответственно. Также в Колывани выявлены высокие уровни заболеваемости ЗНО лёгкого (в 9 раз выше показателя по РФ), кроветворной ткани у всего населения (в 11 раз выше показателя по РФ) и у детей от 0 до 14 лет (в 14 раз выше показателя по РФ). Уровень заболеваемости анемиями и ВПР среди детского населения выше стандартов по РФ в 1,5 раза. В 2015 году отмечен высокий показатель ЗНО яичка у детей от 0 до 14 лет – $26 \text{ }^0/_{0000}$, по РФ этот стандарт не превышает $1 \text{ }^0/_{0000}$ (Аксель и др., 2009).

В государственном докладе «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Новосибирской области в 2014 году» указано, что Колыванский район имеет повышенный уровень заболеваемости неинфекционными болезнями, относительно других районов Новосибирской области (Государственный доклад..., 2015).

Высокие уровни заболеваемости в Колывани могут быть следствием загрязнения атмосферного воздуха в связи с близким расположением карьера по добычи радиоактивного гранита открытым способом, повышенными показателями ОАР и ППР (рисунок 5.1), высокой радиоактивности подземных вод и использованием местного гранита (U – 9,6 г/т, Th – 34 г/т) и щебня в строительных целях. Там наблюдаются повышенный уровень радиационного фона до 35 мкР/ч.

Гуандун, Китай. По данным Всемирной организации здравоохранения южные провинции Китая являются районами с самым высоким в мире показателем заболеваемости ЗНО носоглотки. В провинции Гуандун выявлено 11–25 случаев заболеваний ЗНО носоглотки для обоих полов на 100 тыс. населения (Meng et al., 2016; Но, 2017). В России этот показатель варьирует от 2 до 7 случаев на 100 тыс. населения, в мире – от 1 до 2 (Злокачественные новообразования..., 2018; Tang et al., 2016). В свою очередь в провинции Гуандун

выявлена повышенная частота ВПР, заболеваемости ЗНО у детей, раком лёгкого среди взрослого населения.

В некоторых районах провинции наблюдаются аномально высокие показания ОАР и ППР (рисунки 5.1, 5.3, 5.5). В провинции Гуандун широко распространено строительство домов из кирпичей (рисунок 5.4), сделанных из местной радиоактивной глины ($U - 8,5$ г/т, $Th - 53,4$ г/т). Дополнительным фактором радиационной нагрузки на местное население в г. Чжухай может служить высокая активность торона (^{220}Rn или Tn) – дочернего продукта ^{232}Th . Период полураспада Tn составляет 55 с, поэтому он обычно не представляет радиэкологической опасности. Однако в южно-китайских провинциях за счёт распространения ториеносных пород и почв, а также использования в строительстве глин и щебня, обогащённых ^{232}Th наблюдается аномальная активность ^{220}Rn до 461 кБк/м³ (Wang et al., 2012).

Овернь, Франция. Показатель ЗНО у всех групп населения во французском регионе Овернь превышает мировой стандарт в 3 раза. Онкозаболевания лёгкого отличаются повышенным уровнем относительно мировых значений и стандартизированных показателей по Франции (Le cancer en Auvergne..., 2015).

Высокие содержания U (18 г/т) в гранитах и, как следствие, высокие активности Rn (300 Бк/м³) могут выступать опасными радиэкологическими факторами, влияющими на заболеваемость и смертность населения в регионе Овернь.

Анализ зависимости показателей заболеваемости различными видами ЗНО и ВПР в исследуемых районах от ОАР в воздухе, концентраций Th , U в гранитах показаны на рисунках 6.2–6.6.

Устанавливается связь повышения уровня ЗНО всех видов у детского населения от ОАР в воздухе (рисунок 6.2, А) и суммы концентраций U и Th в гранитах (рисунок 6.2, Б).

Рост уровня ВПР в большей степени зависит от ОАР, чем от суммы концентраций U и Th в гранитах (рисунок 6.3, В, Г).

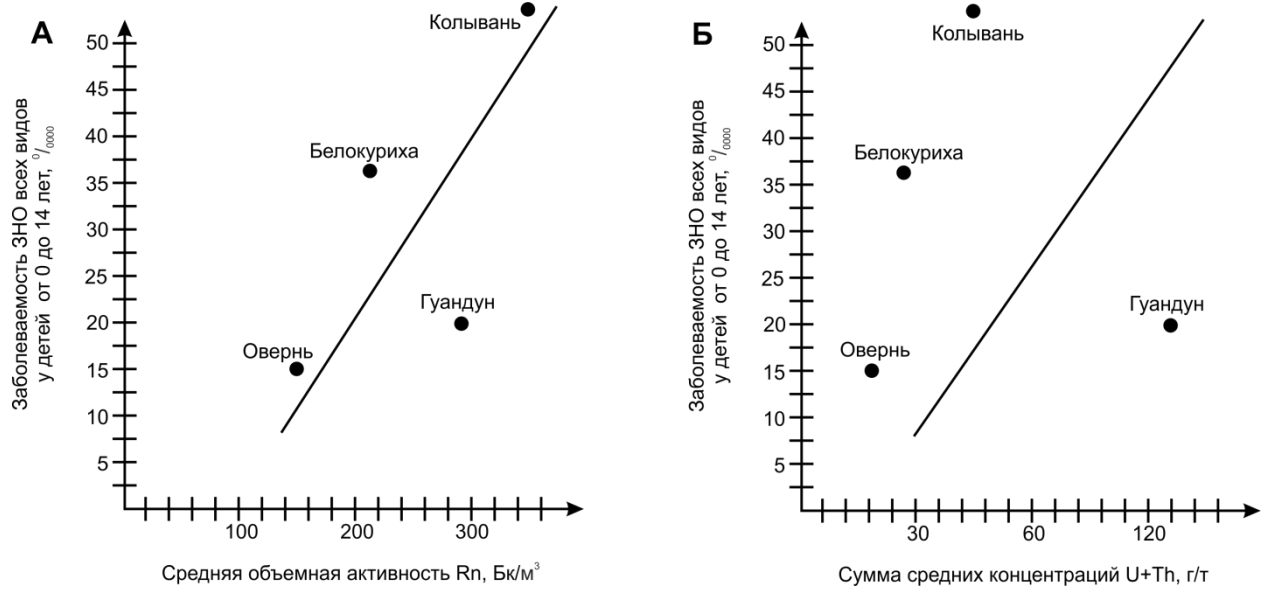


Рисунок 6.2 – Зависимость показателей заболеваемости ЗНО всех видов у детей от объёмной активности Rn и суммы концентраций U и Th в гранитах

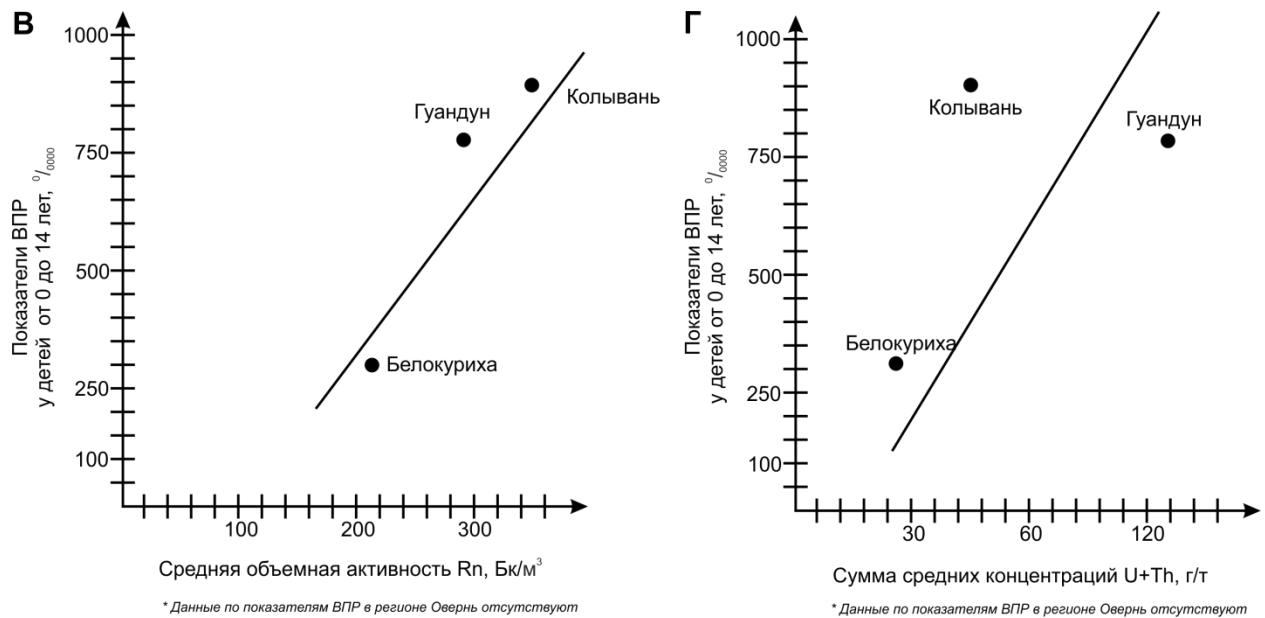


Рисунок 6.3 – Зависимость показателей ВПР у детей от объёмной активности Rn и суммы концентраций U и Th в гранитах

Прослеживается тенденция к увеличению заболеваемости раком лёгкого у всего населения с ростом активности Rn и концентрации U в гранитах (рисунок 6.4, Д, Ж).

Повышается уровень заболеваемости ЗНО кроветворной ткани, как у всех возрастных групп населения, так и у детей в зависимости от показателей Rn (рисунок 6.5, 3, И).

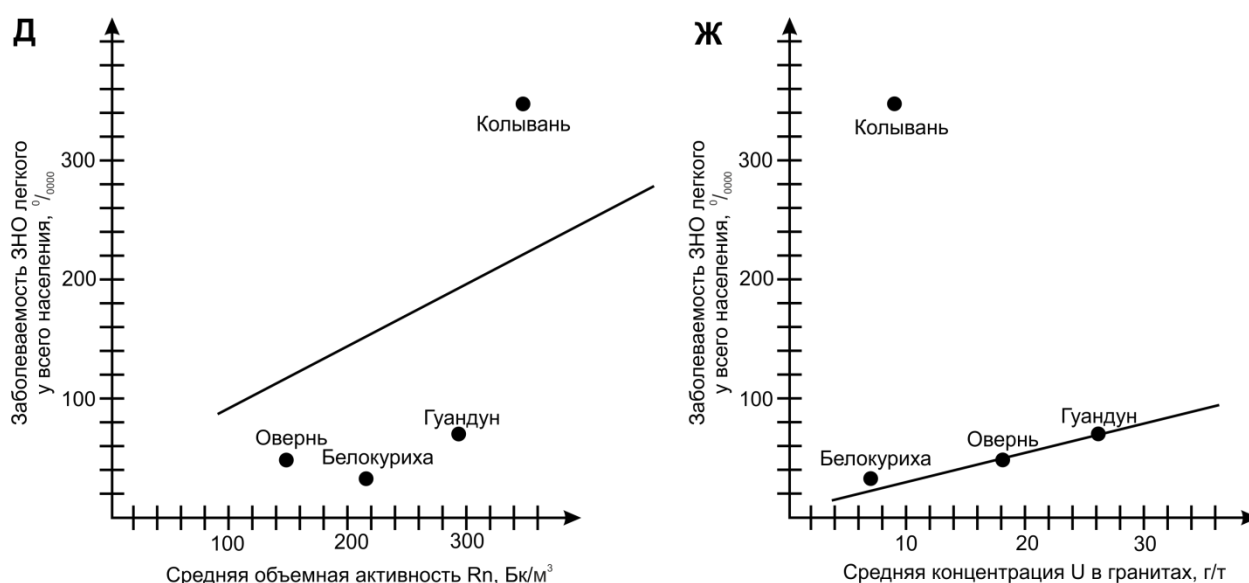


Рисунок 6.4 – Зависимость показателей заболеваемости ЗНО лёгкого всего населения от объёмной активности Rn и концентрации U в гранитах

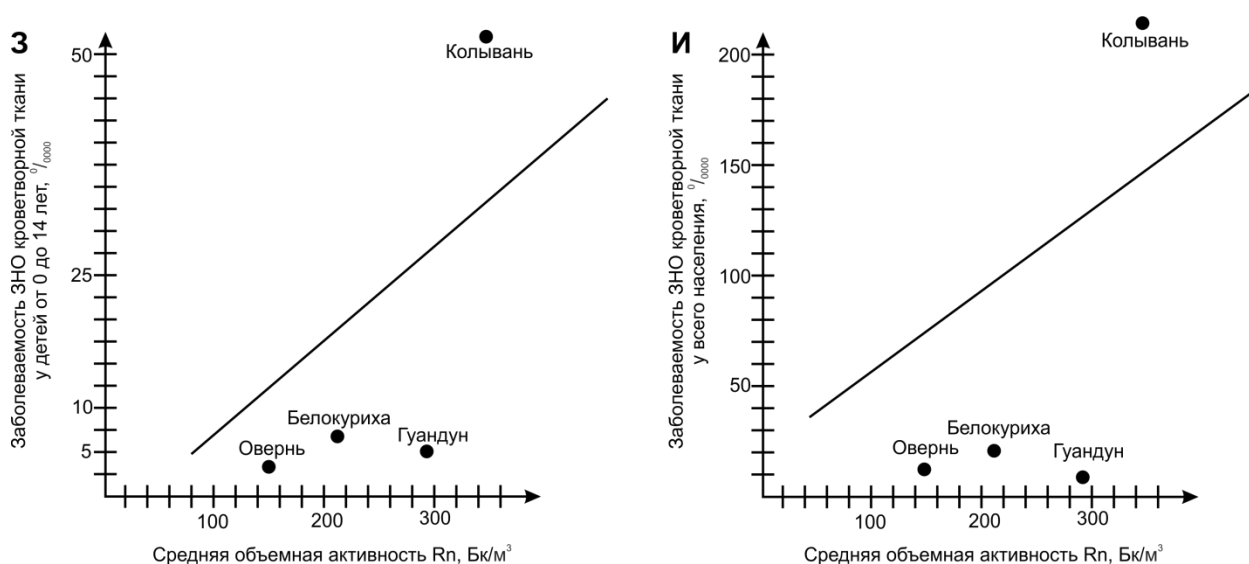


Рисунок 6.5 – Зависимость показателей заболеваемости ЗНО кроветворной ткани у детей и взрослых от объёмной активности Rn

Увеличение уровня заболеваемости раком носоглотки имеет более чёткую зависимость от концентраций Th в гранитах (рисунок 6.6, Л), чем от ОАР в воздухе (рисунок 6.6, К). Отметим, что в организме человека одной из основных

локализаций для накопления Th является лимфоидная ткань, особенно большое количество которой, сосредоточено в области носоглотки.

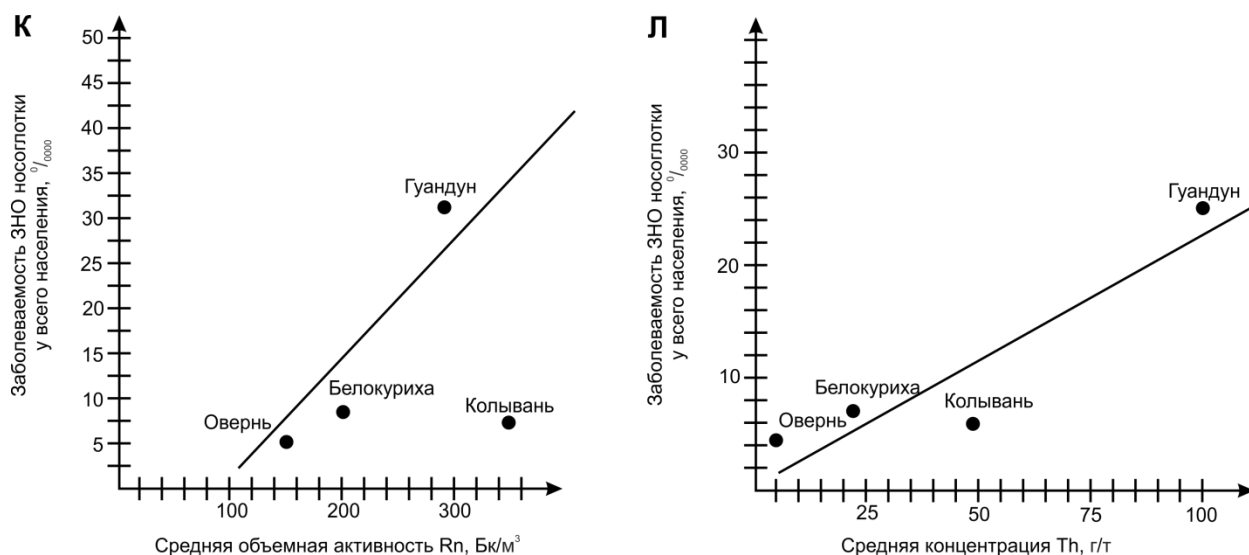


Рисунок 6.6 – Зависимость показателей заболеваемости ЗНО носоглотки у всего населения от объёмной активности Rn и средней концентрации Th в гранитах

К *территориям риска* по частоте заболеваемости ЗНО всех видов у детей от 0 до 14 лет можно отнести Белокуриху и Колывань, ЗНО лёгкого – Колывань, ЗНО носоглотки – провинцию Гуандун, ЗНО кроветворной ткани – Колывань. Высокий риск врождённых аномалий отмечен в Колывани и Гуандун.

Вклад естественной радиоактивности в общий комплекс факторов, влияющих на показатели заболеваемости, установить однозначно достаточно сложно. Однако необходимо учитывать воздействие радиационных рисков при оценке некоторых медико-биологических показателей здоровья населения, особенно в районах распространения радиоактивных пород.

Рекомендации по снижению радиационных рисков. В населённых пунктах, которые приурочены к областям распространения высокорadioактивных пород, следует проводить постоянный радиационный мониторинг, прежде всего регистрацию ОАР в помещениях.

При использовании местных материалов (глина, гранит, щебень и др.) необходимо проводить радиометрические наблюдения. Строительство зданий в районах с высокой фоновой нагрузкой требует осуществление противорадоновых мероприятий:

- 1) выбор для строительства участка с низкими показателями ППР и ОАР;
- 2) использование защитных конструкций, эффективно препятствующих проникновению R_n из грунта в здание;
- 3) удаление R_n из воздуха помещений (улучшение вентиляции помещений).

У населения, проживающего в таких местах следует оценивать полученные дозовые нагрузки биодозиметрическими методами (ЭПР-дозиметрия по образцам эмали зубов человека, цитогенетический метод, основанный на учёте специфических хромосомных aberrаций в лимфоцитах периферической крови и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На территории России (Алтайский край, Новосибирская область и др.), Франции (регион Овернь и др.), Китая (провинция Гуандун и др.) и ряда других стран существуют участки с повышенным содержанием ЕРЭ в породах, природных водах, почве. Такие области являются объектами повышенного радиационного риска.

2. Исследуемые граниты отличаются повышенной концентрацией естественных радионуклидов и относятся к различным радиогеохимическим типам: граниты Белокурихинского и Колыванского комплексов – к высокорadioактивным редкометалльным; граниты Бувуар (г. Эшасьер, Франция) – к высокорadioактивным существенно ураноносным; граниты Чжухая (провинция Гуандун, Китай) – к высокорadioактивным ториевым.

3. Образующиеся в процессах выветривания гранитов коры выветривания и почвы наследуют радиогеохимические особенности пород, происходит формирование горизонтов, обогащённых естественными радионуклидами.

4. Отмечается различная специфика распределения ЕРЭ по профильным разрезам в исследуемых районах. Различный уровень выщелачивания ЕРЭ из горных пород и уровни их накопления в корях выветривания и почвенных горизонтах могут говорить о различных климатических и физико-химических обстановках, в которых формировались данные геологические образования. Однако существует общая тенденция к накоплению ЕРЭ в зонах дезинтеграции гранитов, дресвы и глины.

5. Для исследуемых образцов глинистых горизонтов, зон дресвы и почв не характерны минералы-концентраторы U. По результатам фракционного анализа определилась тенденция к наиболее интенсивному накоплению U в тонкодисперсных фракциях.

6. Анализ глинистой составляющей кор выветривания и почв методом осколочной радиографии показал равномерное распределение треков от деления U по исследуемому образцу. Это свидетельствует о нахождении U в рассеянной форме, вероятнее всего, в виде сорбции на глинистых минералах.

7. Глинистые горизонты представляют собой мощный генератор ^{222}Rn (продукта распада ^{238}U) в атмосферу. Перераспределение U в корях выветривания гранитов способствует его растворению и накоплению в подземных водах. Этот процесс обогащает воды ^{222}Rn .

8. На исследуемых территориях выявлена напряжённая радиоэкологическая обстановка, связанная с повышенными показателями ОАР, ППР, МЭД и радиоактивности подземных вод (во всех изученных районах), а также активности торона (в г. Чжухай).

9. У населения, проживающего на территориях с повышенным естественным радиационным фоном, наблюдаются высокие уровни развития некоторых неинфекционных заболеваний. Выявлена зависимость частоты заболеваемости ЗНО и ВПР от радиоэкологических показателей.

10. К территориям риска по частоте заболеваемости ЗНО всех видов у детей от 0 до 14 лет можно отнести Белокуруху и Колывань, ЗНО лёгкого – Колывань, ЗНО носоглотки – провинцию Гуандун, ЗНО кроветворной ткани – Колывань. Высокий риск ВПР отмечен в Колывани и Гуандун.

11. В населённых пунктах, которые приурочены к областям распространения высокорadioактивных пород, следует проводить постоянный радиационный мониторинг, прежде всего регистрацию ОАР в помещениях. При использовании местных материалов (глина, гранит, щебень и др.) необходимо проводить радиометрические наблюдения. У населения, проживающего на таких местах, следует оценивать полученные дозовые нагрузки биодозиметрическими методами.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

WRB – World Reference Base for Soil Resources (мировая реферативная база почвенных ресурсов)

ВПР – врождённые пороки развития

ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота

ДПР – дочерние продукты распада

ЕРЭ – естественные радиоактивные элементы

ЗНО – злокачественные новообразования

ИНАА – инструментальный нейтронно-активационный анализ

ИШПР – инженерная школа природных ресурсов

КПШ – калиевые полевые шпаты

МАИР (IARC) – Международное агентство по изучению рака (International Agency for Research on Cancer)

МЭД – мощность экспозиционной дозы

НКДАР ООН (UNSCEAR) – Научный комитет по действию атомной радиации Организации объединённых наций (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)

ОАР – объёмная активность радона

ППР – плотность потока радона

РЗЭ – редкоземельные элементы

РФА – рентгенофазовый анализ

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия

ТПУ – Томский политехнический университет

ЭПР – электронный парамагнитный резонанс

ЭРОА – эквивалентная равновесная объёмная активность

ЭЭД – эквивалентная эффективная доза

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаев, Ю.Л. Радиационно-гигиеническая обстановка в предгорьях Алтая и ее оптимизация на курорте Белокуриха: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.07 / Азаев Юрий Лиджиевич; АГМУ. – Кемерово. – 1997. – 25 с.
2. Аксель, Е. М. Заболеваемость детей злокачественными новообразованиями и смертность от них в России и странах СНГ в 2007 г. / Аксель Е. М., Горбачева И. А. // Вестник РОНЦ им. Н. Н. Блохина РАМН. – 2009. – Т. 20. – № 3. Прил. 1. – 139–156 с.
3. Алексахин, Р.М. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: Миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы / Алексахин Р.М., Архипов Н.П., Бархударов Р.М., Василенко И.Я., Дричко В.Ф., Иванов Ю.А., Маслов В.И., Маслова К.И., Никифоров В.С., Поликарпов Г.Г., Попова О.Н., Сироткин А.Н., Таскаев А.И., Тестов Б.В., Титаева Н.А. Февралева Л.Т. / Москва: Наука. – 1990. – 367 с.
4. Арбузов, С.И. Геохимия радиоактивных элементов: учебное пособие – 3-е изд., справлен. и дополнен. / С.И. Арбузов, Л.П. Рихванов. Томск: Изд-во ТПУ. – 2011. – С. 300.
5. Бабин, Г. А., Черных А. И., Головина А. Г., Жигалов С. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-44 – Новосибирск. Объяснительная записка. – С-Пб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. – 2015. – 392 с.
6. Баженов, В. А. и др. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества: справочник / Баженов, В. А. и др.; под. ред. Ильина, Л. А., Филова, В. А. Ленинград: Химия. – 1990. – 463 с.
7. Бахур, А.Е. Научно-методические основы радиозоологической оценки геологической среды: Автореф. дис. ... док. г.-м. наук. – Москва, 2008. – 45 с.
8. Берзин, Н. А. Геодинамическая карта западной части Палеоазиатского океана / Берзин Н. А., Колман Р. Г., Добрецов Н. Л. и др. // Геология и геофизика. – 1994. – Т. 35. – № 7–8. – С. 8–28.

9. Бурков, В.В. Литофильные редкие элементы в корях выветривания. – М.: ИМГРЭ. – 1996. – 238 с.

10. Бурлакова, Е.Б. К вопросу о значении цепного окисления жиров под действием излучения для развития лучевого поражения // Биохимические и физико-химические основы биологического действия радиации. М. – 1957.

11. Бурлакова, Е.Б. Новые аспекты закономерностей действия низкоинтенсивного облучения в малых дозах / Бурлакова, Е.Б., Голощапов А.Н., Жижина Г.П., Конрадов А.А. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1999. – Т. 39. – № 1. – С. 26-33.

12. Гераськин, С.А. Критический анализ современных концепций и подходов к оценке биологического действия малых доз ионизирующего излучения // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1995. – Т. 35. – № 5. – С. 563–580.

13. Глазовский, Н.Ф. Техногенные потоки веществ в биосфере // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. Москва: Наука. – 1982. – С. 7–28.

14. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаба 1:1 000 000 (третье поколение). Лист М-50 (Борзя). Объяснительная записка. - СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2006. 419 с. (ч.1 – 293 с., ч.2 – 126 с.) (МПР России, Федеральное агентство по недропользованию, ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУГП «Читагеолсъемка»).

15. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Новосибирской области в 2014 году». – Новосибирск, «Альфа-Порте». – 2015.– 226 с.

16. Григорьев, Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН. – 2009. – 383 с.

17. Гусева, Л.В. Радиационно-гигиенические аспекты проблемы монацитовых песков Приазовья (обзор) // Вестник гигиены и эпидемиологии, ДонДМУ. – 2003. – Т. 7. – № 1. – С. 114-120.

18. Демикова, Н.С. Динамика частоты врожденных пороков развития в РФ (по данным федеральной базы мониторинга ВПР за 2006–2012 гг.) / Демикова, Н.С., Лапина А.С., Подольная М.А., Кобринский Б.А. // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2015. – № 2. – С. 72-77.

19. Добрецов, Н. Л. Мантийные плюмы и их роль в формировании анорогенных гранитоидов // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44. – № 12. – С. 1243–1261.

20. Добрецов, Н. Л. Раннепалеозойская тектоника и геодинамика Центральной Азии: роль раннепалеозойских мантийных плюмов // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 12. – С. 1957–1973.

21. Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Алтайском крае в 2016 году», ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае». – 2017. – 255 с.

22. Жмодик, С.М. Геохимия радиоактивных элементов в процессе выветривания карбонатитов, кислых и щелочных пород. – Новосибирск: Наука. – 1984. – 165 с.

23. Жуковский, М.В. Современные подходы к нормированию облучения радоном и анализ последствий их применения в России / Жуковский М.В., Ярмошенко И.В., Киселев С.М. // АНРИ. – 2011. – №4. – С. 18–25.

24. Злобина, А.Н. Радиоэкологическая опасность для населения в районах распространения высокорadioактивных гранитов / Злобина А.Н., Рихванов Л.П. Барановская Н.В., Фархутдинов И.М., Ванг Н. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – №. 3. – С. 111–125.

25. Злобина, А.Н. Природа высокой радиоактивности почв китайской провинции Гуандун / Злобина А.Н., Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Ванг Н. // Вопросы естествознания. – 2015. – № 3(7). – С. 92–95.

26. Злобина, А.Н. Природа высокой радиоактивности почв китайской провинции Guandong / Злобина, А.Н., Рихванов Л.П. / Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVI Международного симпозиума имени академика М.А.

Усова студентов и молодых ученых, посвященного 110-летию со дня основания горно-геологического образования в Сибири. Том I; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2012. – С.536–537.

27. Злобина, А.Н. Высокорадиоактивные почвы китайской провинции Гуандун как продукт химического преобразования щелочных гранитов / Злобина, А.Н., Рихванов Л.П., Ван Н. / Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы Всероссийской конференции с участием иностранных ученых. Томск: Изд-во НТЛ. – 2012. – С. 223–225.

28. Злокачественные новообразования в России в 2016 году (заболеваемость и смертность). Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. – 2018. – 250 с.

29. Ивановский, Ю.А. Радиационный гормезис. Благоприятны ли малые дозы ионизирующей радиации? // Вестник ДВО РАН. – 2006. – № 6. – С. 86–91.

30. Казначеев, В.П. Курорт Белокуриха / В.П. Казначеев, Е.Ф. Чернявский. – 5-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: СО РАМН, 1999. – 110 с.

31. Казначеев, В.П. Курорт Белокуриха / В.П. Казначеев, Е.Ф. Чернявский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2011. – 204 с.

32. Казначеев, В.П. Сверхслабые излучения в межклеточных взаимодействиях / Казначеев В.П., Михайлова Л.П. – Новосибирск: Наука. – 1981. – 260 с.

33. Карелин, В.А. Идентификация радионуклидов методом гамма-спектрометрии. Методические указания к лабораторной работе. Томск, ТПУ, 2012. – 25 с.

34. Котеров, А.Н. Перспективы учета «эффекта свидетеля» при оценке радиационных рисков // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2011. – № 1(5). – С. 7-19.

35. Кузин, А.М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы Земли. – М: Наука, 1991. – 198 с.

36. Кузин, А.М. Идеи радиационного гормезиса в атомном веке. – М: Наука, 1995. – 156 с.

37. Литтл, Д.Б. Немишенные эффекты ионизирующих излучений: выводы применительно к низкодозовым воздействиям // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2007. – Т. 47. – № 3. – С. 262–272.

38. Маликова, И.Н. Уран, торий и Th/U отношение в почвах юга западной Сибири / Маликова, И.Н., Страховенко В.Д. // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2011. – № 1(15). – С. 26–39.

39. Методические указания. МУ 2.6.1.037-2015. Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности. ФМБА России. – Москва: «Альфа-Принт» – 2016. – 48 с.

40. Микляев, П.С. Исследования эманирования глинистых пород по радону / Микляев П.С., Петрова Т.Б. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2010. – № 1. – С. 13–22.

41. Микляев, П.С. Роль микроструктуры глинистых пород в формировании их эманирующей способности / Микляев, П.С., Петрова, Т.Б., Макеев, В.М., Казеев, А.И., Петрова О.А. // Геоэкология. – 2012. – № 3. – С. 263-269.

42. Микляев, П.С. Научные основы оценки потенциальной радоноопасности платформенных территорий. Автореф. дис. ... д. г.-м. наук. – Москва. – 2015. – 47 с.

43. Михайлов, В. А. Радиогеохимические и гидротермально-метасоматические факторы локализации уранового оруденения в вулканотектонических сооружениях Забайкалья / Михайлов В. А., Рассолов А. А. // Региональная геология и металлогения. 2016. № 66. С. 103–112.

44. Михнев, И.П. Фоновое облучение населения и методы защиты от природных радионуклидов в помещении: Дисс. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2000. – 267 с.

45. МУ 2.6.5.009-2016 Объёмная активность радионуклидов в воздухе на рабочих местах. Требования к определению величины среднегодовой активности

[Электронный ресурс] // Техэксперт [сайт]. [2016]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456023326> (дата обращения 22.12.2018).

46. Моисеев, А.А. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. 3-е изд., перераб. и доп. / Моисеев, А.А., Иванов, В.И. – М.: Энергоатомиздат. – 1984. – 296 с.

47. Наумов, Г.Б. Радиоэкология в решении геоэкологических проблем / Наумов, Г.Б., Омеляненко Б.И. // Радиоактивности и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы Международной конференции. Томск, 1996 г. – Томск: ИПФ ТПУ. – 1996. – С. 51–55.

48. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы СП 2.6.1.758-99. М.: Минздрав России. – 1999. – 116 с.

49. Рихванов, Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиоэкологии: учебное пособие. – Томск: STT. – 2009. – 430 с.

50. Рихванов, Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. Томск: Издательство ТПУ – 1997. – 384 с.

51. Рихванов, Л.П. Радиографические исследования в радиоэкологическом мониторинге / Рихванов Л.П., Замятина Ю.Л., Архангельская Т.А. // Известия Томского политехнического университета: Науки о Земле. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 123–127.

52. Росляков, Н.А. Естественные радионуклиды в геологической среде новосибирской области / Росляков Н.А., Жмодик С.М., Пахомов В.Г. / Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека / Материалы IV Международной конференции, г. Томск, 2013 г. – С. 461–464.

53. Росляков, Н.А. Геохимия урана в процессах выветривания и гидрогенного рудообразования / Росляков Н.А., Жмодик С.М., Страховенко В.Д., Восель Ю.С. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 3с-2. – С. 97–102.

54. Сарнаев, С.И. Опыт по созданию эталона для определения урана методом f-радиографии / Сарнаев С.И., Рихванов Л.П. // Радиографические

исследования в радиогеохимии и смежных областях. – Новосибирск. – 1991. – С. 75–77.

55. Смыслов, А.А. Уран и торий в земной коре. – Л.: Недра. – 1974. – 231 с.

56. Социально-гигиенический паспорт Алтайского края по врожденным порокам развития у детей (плода) (на основе социально-гигиенического паспорта за 1997-2016 гг.). Информационный бюллетень. – Барнаул: РИТТЕР. – 2017. – 129 с.

57. СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства». Госстрой России, ГУП ЦПП. – 2001. – 20 с.

58. Стернгласс, Э.Дж. Радиоактивность. Химия окружающей среды. – М.: Химия. – 1982.

59. Стрелер, Б. Время, клетки и старение. – М.: Мир. – 1964. – 251 с.

60. Судыко, А.Ф. Определение элементного состава углей и зол углей нейтронно-активационным методом // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири: Матер. Межрегион. науч. практ. конф. Томск: Изд-во ТПУ. – 2007. – С. 293–297.

61. Султанбаев, А.С. Содержание естественного урана в почве и вынос его урожаем растений // Совершенствование и возделывание сельскохозяйственных культур – научная основа интенсификации растениеводства в Киргизии. Фрунзе. – 1974. – Вып. 12. – С. 197–207.

62. Табакаева, Е.М. Белокурихинский комплекс Алтая: состав и геодинамическая позиция // Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика, гидрогеология, геоэкология, минеральные и водные ресурсы. – Горно-Алтайск. – 2010. – №1. – С. 62-71.

63. Табакаева, Е.М. Петролого-геохимические критерии рудоносности Белокурихинского комплекса Алтая. Автореф. дис. ... к. г.-м. наук. – Томск. – 2011. – 21 с.

64. Титаева, Н.А. Геохимия природных радиоактивных рядов распада. – М: ГЕОС. – 2005. – 226 с.

65. Черников, А.А. Поведение урана в зоне гипергенеза. – 2-е изд., исправл. и доп. – М: Недра. – 1998. – 366 с.
66. Черняго, Б.П. Современная радиационная обстановка в центральной экологической зоне Байкальской природной территории / Черняго Б.П., Непомнящих А.И., Медведев В.И. // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 9. С. 1206–1218.
67. Шаров, В.Б. Здоровье и радиация. – Челябинск: Изд-во УСДЭНТП. – 1993.
68. Шевченко, В.А. Генетические последствия действия ионизирующих излучений / Шевченко, В.А., Померанцева М.Д. – М.: Наука. – 1985.
69. Эйбус, Л.Х. Мембранный механизм биологического действия малых доз. Новый взгляд на проблему. – М. – 2001.
70. Эйзенбад, М. Радиоактивность внешней среды. – М.: Атомиздат. – 1967.
71. Яблоков, А.В. О концепции «Популяционного груза» (обзор) / А.В. Яблоков // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94. № 6. – С. 11–15.
72. Ярмоненко, С.П. Радиобиология человека и животных. – 3-е издание. – М: Высшая школа. – 1988. – 230 с.
73. Ярмошенко, И.В. Радон как фактор облучения населения России // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2017. – №2 (18) . – С. 108–116.
74. Akiba, S. Thoron: its metrology, health effects and implications for radon epidemiology: a summary of roundtable discussions / Akiba S., Tokonami S., Bochicchio F., McLaughlin J., Tommasino L., Harley N. // Radiation Protection Dosimetry. – 2010. – Vol. 141. – № 4. pp. 477–481.
75. Atlas de la mortalité par cancer en Ile-de-France 2000-2007 / edit by Chatignoux, É., Pépin, PP. / Observatoire régional de santé d'Ile-de-France. – 2012. – pp. 140
76. Axelson, O. Multiple sclerosis and ionizing radiation / Axelson O., Landtblom, A.-M., Flodin, U. // Neuroepidemiology. – 2001. – № 20. – pp. 175-178.

77. Baranovskaya, N. V. Radioactive Elements in Soils of Siberia (Russia) / Baranovskaya, N. V., Rikhvanov, L. PP., Matveenkov, I. N., Strakhovenko, V. D., Malikova, I. N., Shcherbakov, B. L., Sukhorukov, F. V., Aturova, V. PP. // Geophysical Research Abstracts. EGU General Assembly. – 2012. – Vol. 14. – pp.14198.

78. Billon, S. French population exposure to radon, terrestrial gamma and cosmic rays / Billon, S., Morin, S. // Radiat. Prot. Dosim. – 2005. – V. 113. – № 3. – pp. 314-320.

79. Bolviken, B. Ecological analysis: nasopharyngeal carcinoma and multiple sclerosis versus radioactive elements // Natural Ionizing Radiation and Health. Proceedings from a symposium held at the Norwegian Academy of Science and Letters, Oslo. – 2001. – pp. 126-134.

80. Bowen, H.J.M. Trace elements in biochemistry. London, New York: Academic Press. –1966. – pp. 248.

81. Boyce, J.D. Ionizing radiation // Cancer Epidemiology and Prevention / Eds D. Schottenfeld, J.F. Fraumeni. – Oxford: University Press, 2006, - pp. 259-293

82. Bureau of Geology and mineral Resources of Guangdong Province, Regional Geology of Guangdong Province, People's Republic of China, Geological Publishing House, Beijing. – 1988. – pp. 390.

83. Cadet, J. Oxidative damage to DNA: formation, measurement, and biological significance / Cadet J., Berger M., Doury T., Ravanat J.L. // Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol. – 1997. Vol. 131. – pp. 1–87.

84. Cao, S.M. Fluctuations of Epstein-Barr virus serological antibodies and risk for nasopharyngeal carcinoma: a prospective screening study with a 20-year follow-up / Cao, S.M., Liu, Z., Jia, W.H., Huang, Q.H., Liu, Q., Guo, X. // PLoS One. – 2011. – № 6.

85. Cartographie du potentiel d'emanation du radon en Auvergne. Rapport final / edit by Tourliere, Bertin C., Rouzaire D. – 2007. – PP.61.

86. Chen, D. Radioelements concentration in groundwater and it's effect on indoor radon in Zhuhai city / Chen D., Wang X., Guan X. // Environ. Chem. – 2000. – V. 19. – № 4. – pp. 377–381 (in Chinese).

87. Chen, D. Indoor radon survey in indoor environments in Zhuhai city, China / Chen D., You X., Hu R. // *Radiation Measurements*. – 2005. – № 39. – pp. 205–207.
88. Chen, W. Cancer incidence and mortality in China, 2014 / Chen W., Sun K., Zheng R., Zeng H., Zhang S., Xia C., Yang Z., Li H., Zou X., He J. // *Chinese Journal of Cancer Research*. – 2018. – V.30. – №1. – pp. 1–12.
89. Chen, J. Background concentrations of elements in soils of China / Chen, J., Wei, F., Zheng, C., Wu, Y., Adriano, C.D. // *Water Air Soil Pollut.* – 1991. – № 57-58. – pp. 699–712.
90. Cinelli, G. Radiological risk from thoron, a case study: The particularly radon-prone area of Bolsena, and the lesson learned / G. Cinelli, B. Capaccioni, M.A. Hernández-Ceballos, D. Mostacci, A. Perghem, L. Tositti // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2015. – № 116. – pp. 381–385.
91. Clavel, J. Childhood cancer registration in France [Электронный ресурс] // Université Paris-Descartes, Sorbonne-Paris-Cité: [сайт]. [2013]. URL: (дата обращения: 20.11.2018).
92. Cooper, R. Multiple sclerosis: an immune legacy // *Medical Hypotheses*. – 1997. – № 49. – pp. 307–311.
93. Cuney, M. The Beauvoir Topaz-Lepidolite Albite Granite (Massif Central, France): The Disseminated Magmatic Sn-Li-Ta-Nb-Be Mineralization / Cuney M., Marignac C., Weisbrod A. // *Economic Geology*. – 1992. – Vol. 87. – pp. 1766-1794.
94. Darby, S. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies / Darby, S., Hill, D. // *British Medical Journal*. – 2005. – № 330. – pp. 223–228.
95. Derin, M.T. Radionuclides and Radiation Indicates of High Background Radiation Area in Chavara-Neendakara Placer Deposits (Kerala, India) / Derin, M.T., Vijagopal, PP., Venkatraman, B., Chaubey, R.C., Gopinathan, A. // *PLoS ONE*. – 2012. – V. 7 – № 11. – pp. 123–145.
96. Dickson, B.L. A new model for the origin of the anomalous radioactivity in Niue Island (South Pacific) soils // *CSIRO Division of Exploration Geoscience, Australia*. – 1992. – PO Box 136.

97. Eidbo, W.B. Linkage, multiple sclerosis and ionizing radiation / Eidbo, W.B., Prater, M.PP. // *Medical Veritas*. – 2004. – № 1. – pp. 272–276.

98. Eidemuller, M. (2012) Lung Cancer Mortality (1950–1999) among Eldorado Uranium Workers: A Comparison of Models of Carcinogenesis and Empirical Excess Risk Models / Eidemüller, M., Jacob, PP., Lane, R.S.D., Frost, S.E., Zablotska, L.B. // *PLoS ONE*. – 2012. – V. 7. – № 8. – e41431.

99. Gal, F. Soil gas measurements around the most recent volcanic system of metropolitan France (Lake Pavin, Massif Central) / Gal F., Gadalia, A. // *Comptes Rendus Géoscience, Elsevier Masson*. – 2011. – 343. – pp.43-54.

100. Generalized geologic radon potential of the U.S. [Электронный ресурс] // Oak Ridge Associated Universities [сайт]. [2016]. URL: <http://www.ornl.gov/ptp/PTP%20Library/library/usgs/RADONMAPP.pdf> (дата обращения 18.08.2018)

101. Geochemical Atlas of Europe. Part 1: Background Information, Methodology and Maps [Электронный ресурс] // *Geochemical Atlas of Europe*: [сайт]. [2005]. URL: <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/disclaimer.php> (дата обращения: 18.05.2018).

102. Gilmore, M. A pilot study of the relationship between multiple sclerosis and the physical environment in northwest Ireland. *Environ / Gilmore, M., Grennan, E. // Geochem. Health*. – 2003. – № 25. – pp. 157-163.

103. Health effects of Exposure to Radon: BEIR VI, National Academy Press, Washington D.C. – 1999. – pp. 516.

104. Henshaw, D.L. Is indoor radon linked to leukaemia in children and adults? – A review of the evidence / Henshaw, D.L., Allen, J.E. // *Natural Ionizing radiation and health. Proceedings from a symposium held at the Norwegian Academy of Science and Letters, Oslo, 2002. AIT Enger A/S, Otta*. – 2002. – pp. 152.

105. Hiromoto, G. Radioactive Soil Characterization Of The State Of Sao Paulo, Brazil / Hiromoto, G., Peres, A.C., Tadei, M.H., Soares, M.R., Alleoni, L.R.F. // *Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy*. – 2010. – V. 12. – Article 19.

106. Ho, C.S. Beating “Guangdong cancer”: a review and update on nasopharyngeal cancer. – Hong Kong Medical Journal. – 2017. – V. 23. – № 5. – pp. 497–502.
107. Hoffman, J.I. The incidence of congenital heart disease / Hoffman, J.I., Kaplan S. // Journal of the American College of Cardiology. – 2002. – V. 19. – № 39. – pp. 1890–1900.
108. Howe, G.R. Lung cancer mortality (1950-80) in relation to radon daughter exposure in a cohort of workers at the Eldorado Port Radium uranium mine: possible modification of risk by exposure rate / Howe, G.R., Nair, R.C., Newcombe, H.B., Miller, A.B., Burch, J.D., Abbatt, J.D. // Journal of the National Cancer Institute. – 1987. – V. 79. – pp. 1255–1260.
109. Isfan, F. Incidence et survie des cancers de l’enfant en Auvergne-Limousin, France, 1986–2003 / Isfan F., Blouin PP., Gembara PP., Piguet C., Chazal J., Lumley L., Demeocq F., Kanold J. // Bulletin Epidemiologique Hebdomadaire. – 2007. – № 14. – pp. 16–119.
110. Jemal, A. The Cancer Atlas / Jemal, A., Vineis, PP., Bray, F., Torre, L., Forman, D. / Second Ed. Atlanta, GA: American Cancer Society. – 2014. – pp. 136.
111. Jin, Y.X. China's ion-adsorption rare earth resources, mining consequences and preservation / Jin Yang X., Aijun Lin, Xiao-Liang Li, Yiding Wu, Wenbin Zhou, Zhanheng Chen // Environmental Development. – 2013. – № 8. – pp. 131–136.
112. Kant, K. Hormesis in humans exposed to low-level ionising radiation / Kant, K., Chauhan R.PP., Sharma G.S. // Int. J. Low Radiation. - 2003. - V. 1, N 1. - pp. 76–88.
113. Kheifets, L. Comparative analyses of studies of childhood leukemia and magnetic fields, radon and gamma radiation / Swanson, J., Yuan, Y., Kusters, C., Vergara, X. // Journal of Radiological Protection. – 2017. – V. 37. – № 2. – pp. 459–491.
114. Kochupillai, N. Down’s syndrome and related abnormalities in an area of high background radiation in coastal Kerala / Kochupillai N., Verma I.C., Grewal M.S., et al. // Nature. – 1976. – № 262. – pp. 60–61.

115. Komperød, M. Radiation Doses to the Norwegian Population. Summary of radiation doses from planned exposure and the environment / Komperød, M., Friberg, E.G., Rudjord, A.L. // Østerås: Norwegian Radiation Protection Authority. – 2015. – № 13. – pp. 19.
116. Le cancer en Auvergne. Bulletin de veille sanitaire. – 2015. – № 30. – pp.19.
117. Li, B. A study of natural radioactivity levels of soil in the Lincang Basin, Yunnan / Li, B., Yan, Y. // Chin.J.Geochem. – 2012. – V. 31. – pp. 191–194.
118. Li, J. Discussion on the genesis of the ion-adsorption REE deposits in Jiangmen area, Guangdong Province / Li, J., Long, Y., Lu, W. // West-China Exploration Engineering. – 2005. – № 113. – PP. 101-103
119. Luckey, T.D. Hormesis with ionizing radiation. – Florida: CRC Press. – 1980. – pp. 222.
120. Luo, W. Dissolution and mobilization of uranium in a reduced sediment by natural humic substances under anaerobic condition / Luo W., Gu B. // Environ. Sci. Technol. – 2009. – V. 43. – pp. 152–156.
121. Ma, J. Study on the ecological association between natural radioactivity and childhood leukemia in Guangdong province / Ma, J., Lei, Y., Ye, T. // China Journal Epidemiology. – 2008. – V.29. – № 4. – pp. 343–345 (in Chinese).
122. Manigandan, PP.K. Measurement of radioactivity in an elevated radiation background area of Western Ghats / Manigandan, PP.K, Chandar Shekar, B. // Nuclear Technology & Radiation Protection. – 2014. – Vol. 29. – № 2. – pp. 128-134.
123. Meng, R. Cancer incidence and mortality in Guangdong province, 2012 / Meng, R., Wei, K., Xia, L., Xu, Y., Chen, W., Zheng, R., Lin, L.// Chinese Journal of Cancer Research. – 2016. – V. 28. – №3. – pp. 311-320.
124. Miklyaev, P.S. Role of Microstructure in Clay Emanation / P.S. Miklyaev, T. B. Petrova , V. M. Makeev , A. I. Kazeev, and O. A. Petrova // Water Resources. – 2013. – Vol. 40. – No. 7 – PP. 746–751.

125. Mortazavi, S.M.J. High Levels of Natural Radiation in Ramsar, Iran / Mortazavi, S.M.J., Karam P.P.A. // Should Regulatory Authorities Protect the Inhabitants. – 2011. – pp. 12.
126. Mothersill, C. Relevance of radiation-induced bystander effects for environmental risk assessment // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2002. – Т. 42, № 6. – pp. 586–587.
127. Nambi, K.S.V. Environmental radiation and cancer in India / Nambi, K.S.V., Soman S.D. // Health Physics. – 1987. – V. 52. – № 5. – pp. 653–657.
128. Perrier, F. Effective radium-226 concentration in rocks, soils, plants and bones / Perrier, F., Girault, F., Bouquerel, H. // Geological Society, London, Special Publications. – 2016. – pp. 113–129.
129. Pui, C. Childhood Leukemias. Third Edition. Cambridge University Press, New York. – 2012. – pp. 892.
130. Qu, Y. Incidence of Congenital Heart Disease: The 9-Year Experience of the Guangdong Registry of Congenital Heart Disease, China / Qu Y., Liu X., Zhuang J., Chen G., Mai J., Guo X. // PLoS ONE. – 2016. – V. 11. – № 7. – pp. 1-12.
131. Rikhvanov, L.P. Radioactive elements in the environment and the radioecological problems: Manual. Tomsk: TPU Univ-ty Press. – 2009. – PP. 384.
132. Rikhvanov, L.P. The Nature of High Soil Radioactivity in Chinese Province Guangdong / Rikhvanov, L.P., Zlobina A.N., Wang N., Matveenko I.A. // Procedia Chemistry. – 2014. – Vol. 10. – pp. 460–466.
133. Rodríguez-Martínez, A. Residential radon and small cell lung cancer. A systematic review / Rodríguez-Martínez A., Torres-Durán M., Barros-Dios J. M., Ruano-Ravina A. // Cancer Letters. – 2018. – V. 426. – pp. 57-62.
134. Rudnick, R.L. Composition of the continental crust / Rudnick R.L., Gao S. // Treatise on Geochemistry. – 2003. – Vol. 3. The Crust. Elsevier Sci. – pp. 1–64.
135. Ruano-Ravina, A. Residential radon exposure and brain cancer: an ecological study in a radon prone area (Galicia, Spain) / Alberto Ruano-Ravina Nuria Aragonés, Karl T. Kelsey, Mónica Pérez-Ríos, María Piñeiro-Lamas, Gonzalo López-Abente, Juan M. Barros-Dios // Scientific Reports. – 2017. – V. 7. – № 3595. – PP. 2–7.

136. Salem, G. Atlas de la sante en France. Volume 2 / Salem G., Libbey J. – Comportements Et Maladies – Paris. – 2006. – pp. 220.

137. Sternglass, E.J. Cancer Mortality Changes around Nuclear Facilities in Connecticut. Sources and Effects of Ionizing Radiation, NYC. – 1982. – PP. 345.

138. Tang, L.L. Global trends in incidence and mortality of nasopharyngeal carcinoma / Tang L.L., Chen W.Q., Xue W.Q. // Cancer Letters. – 2016. – № 374. – pp. 22-30.

139. Tirmarche, M. Cancer risk associated to radon after exposure in miners or in homes. [Электронный ресурс] // Istituto Superiore di Sanità: [сайт]. [2015]. URL: [http://www.iss.it/binary/tesa/cont/3-Radon%20in%20EU%20\(Margot%20Tirmarche\).1205933102.pdf](http://www.iss.it/binary/tesa/cont/3-Radon%20in%20EU%20(Margot%20Tirmarche).1205933102.pdf) (дата обращения: 18.10.2018).

140. U.S. Atlas of Cancer Mortality [Электронный ресурс] // National Cancer Institute [сайт]. [2016]. URL: <https://dceg.cancer.gov/research/how-we-study/descriptive-epidemiology/cancer-mortality-atlas> (дата обращения: 17.07.2018).

141. Uiba, V.V. Safety problems in territories endangered by anthropogenic and natural radiation factors as exemplified with the area influenced by Priargunskiy Mining and Chemical Complex / Uiba V.V., Kiselev M.F., Romanov V.V., Shandala N.K., and Khokhlova Ye.A. // Biosphere. – 2009. – Т.1, № 1. – pp.101-105.

142. UNSCEAR: Sources and effects of ionizing radiation. Report to the General Assembly of the United Nations with Scientific Annexes, United Nations sales publication, E.94.IX.2, New York: United Nations. – 1993.

143. UNSCEAR: United National Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000 Report to General Assembly, with Scientific Annexes, Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York: United Nations. – 2000.

144. UNSCEAR:United Scientific Committee on the Effects of Atomic radiation. UNSCEAR2006 Report: Annexe E: Source-to-effects assessment for radon in homes and workplaces. New York: United Nations. – 2009. – pp. 195–334.

145. Veiga, R. Measurement of natural radioactivity in Brazilian beach sands / Veiga R., Sanches N., R.M. Anjos, K. Macario, J. Bastos, M. Iguatemy, J.G. Aguiar, A.M.A. Santo et al. // *Radiation Measurements*. – 2006. – V. 41. – № 2. – pp. 189–196.
146. Wang, N. Determination of Radioactivity Level of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in Surface Medium in Zhuhai City by in-situ Gamma-ray Spectrometry / Nanping Wang, Lei Xiao, Canping Li, Ying Huang, Shaoying Pei, Shaomin Liu, Fan Xie, Yexun Cheng // *Journal of Nuclear Science and Technology*. – 2005. – V. 42. – № 10 – pp. 888–896.
147. Wang, N. The level and distribution of ^{220}Rn concentration in soil-gas in Guangdong province, China / Wang N., Peng A., Xiao L., Chu X., Yin Y., Qin C., Zheng L. // *Radiation Protection Dosimetry*. 2012. Vol. 152, No. 1–3, pp. 204–209.
148. Wang, N. Mapping the terrestrial air-absorbed gamma dose rate based on the data of airborne gamma-ray spectrometry in southern cities of China / Wang Nanping, Shengqing, Xiong, Zhengguo Fan, Xingming Chu, Qifan Wu, Shaoying Pei, Jianhua Wan & Lihui Zeng. // *Journal of Nuclear Science and Technology*. – 2012. – V. 49. – № 1. – pp. 61-70.
149. Warnery, E. Indoor terrestrial gamma dose rate mapping in France: a case study using two different geostatistical models / Warnery E., Ielsch G., Lajaunie C., Cale E., Wackernagel H., Debayle C., Guillevic J. // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2015. – N. – 139. – pp. 140–148.
150. Wei, L., Zha Y., Tao Z., He W., Chen D., Yaan Y. Epidemiological investigation of radiological effects in high background radiation areas of Yangjiang China // *J. Radiation Res.* – 1990. – V. 31. – № 1. – pp. 119-136.
151. Winde, F. Uranium contaminated drinking water linked to leukaemia–Revisiting a case study from South Africa taking alternative exposure pathways into account / Winde, F., Erasmus, E.B., Geipel, G.// *Science of the Total Environment*. – 2017. – № 574. – pp. 400–421.
152. Worldwide prevalence of anaemia 1993–2005: WHO global database on anaemia / Edited by Bruno de Benoist, Erin McLean, Ines Egli and Mary Cogswell. – 2008. – pp. 41.

153. Wrenn, M.E. Metabolism of ingested U and Ra / Wrenn, M.E., Durbin, P.W., Howard, B., Lipsztein, J., Rundo, J., Still, E.T. & Willis, D.L. // Health Physics. – 1985. – № 48. – pp. 601–633.p

154. Xu, X.M. The prevalence and spectrum of a and b thalassaemia in Guangdong Province: implications for the future health burden and population screening / Xu X.M., Zhou Y.Q., Luo G.X., Liao C., Zhou M., Chen PP.Y., Lu J.PP., Jia S.Q., Xiao G.F., Shen X., Li J., Chen H.PP., Xia Y.Y., Wen Y.X., Mo Q.H., Li W.D., Li Y.Y., Zhuo L.W., Wang Z.Q., Chen Y.J., Qin C.H., Zhong M // Journal of clinical pathology. – 2004. – V.57. – № 5. – pp. 517–522.

155. Yamada, S. Anti-tumor effect of low dose total (or half) body irradiation and changes of the functional subset of peripheral blood lymphocytes in nonHodgkin's lymphoma patients after TBI (HBI) / Yamada S., Nemoto K., Ogawa Y., Yakatou Y., Hosi A., Sakamoto K. // Low Dose Irradiation and Biological Defense Mechanisms. Amsterdam: Experta Medica Publ. – 1992. – pp. 113–116.

156. Zlobina, A.N. Distribution of Radioactive and Rare-Earth Elements in Ferralsols of the Guangdong Province (China) / Zlobina, A.N., Rikhvanov, L. PP., Baranovskaya, N. V., Wang, N., Farhutdinov, I. M. // Eurasian Soil Science. – 2019. – V. 52. – № 6. – pp. 644–653.

Фондовые материалы

157. Бабин, Г. А. (отв. исп.). Отчет о работах по объекту «Создание комплекта Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 листа N-44–Новосибирск» // В составе работы: И. В. Вербицкий (отв. исп.). Отчет о выполненных работах по объекту «Создание комплектов Государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 листов N-37, O-40, R-42, N-44, M-44, S-47, O-51». – ФГУ НПП «Росгеолфонд». – С-Пб. – 2014.

158. Пахомов, В. Г. (отв. исп.). Атлас радиационной обстановки г. Новосибирска. ГПП «Берёзовгеология». – 2003.

159. Пахомов, В. Г. Районирование территории деятельности ГПП «Берёзовгеология» по природным источникам радиации (Алтайский край, Республика Алтай, Новосибирская и Кемеровская области) / Пахомов В. Г.,

Ламанов Ю. Ф. и др. / Инф. отчёт по геологическому заданию 56-45. Фонды ГГП «Берёзовгеология». Новосибирск. – 1994.

160. Попов, Ю. П. Районирование территории Новосибирской области по степени потенциальной опасности радона и других источников радиации на население. Инф. отчёт. Фонды ГГП «Берёзовгеология», Новосибирск. – 1994.

161. Попов, Ю.П. (отв. исп.). Карта гамма-поля территории г. Белокуриха и курортной зоны. Масштаб 1:10000. Результаты радиозэкологических работ в г. Белокуриха центральной экспедиции № 56 «Берёзовское» ПГО. – 1991 г.

162. Попов, Ю.П. Геохимическая карты г. Белокуриха. Уран (U). Масштаб 1:10000. Результаты радиозэкологических работ в г. Белокуриха центральной экспедиции № 56 «Берёзовское» ПГО. – 1991 г.

163. Попов, Ю.П. План радиометрического обследования детских садов. Масштаб 1:100. Результаты радиозэкологических работ в г. Белокуриха центральной экспедиции № 56 «Берёзовское» ПГО. – 1991 г.

164. Попов, Ю.П. Результаты комплексной съемки. Масштаб 1:10000. Результаты радиозэкологических работ в г. Белокуриха центральной экспедиции № 56 «Берёзовское» ПГО. – 1991 г.