

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт природных ресурсов
Направление подготовки 05.04.01 «Геология»
Кафедра «Кафедра геоэкологии и геохимии»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы				
«Выделение перспективных участков для выявления уранового оруденения типа «несогласия» в районе Анабарского щита по данным аэрогеофизических исследований»				
УДК 553.495:550.8(571.56)				

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ЛМ5А	Леденгский Роман Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Рихванов Л.П.	Д.Г.-М.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шарф И.В.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова О.С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ГЭГХ	Языков Е.Г.	Д.Г.-М.Н.		

Томск – 2017 г.

**Планируемые результаты обучения по основной образовательной программе
подготовки магистров по направлению 05.04.01 «Геология»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Выпускник готов применять глубокие базовые и специальные естественнонаучные и профессиональные знания в профессиональной деятельности для решения задач обеспечения минерально-сырьевой базы и рационального природопользования	Требования ФГОС (ПК-1, 2, 3, 4, 6, 13;16 ОК-1, 10), Критерий 5, АИОР (п. 5.1, 5.2.1-5.2.3., 5.2.5, 5.2.9)
P2	Выпускник способен производить подсчет запасов и оценку ресурсов, провести поиск и подбор максимально рентабельных технологий добычи, схем вскрытия руды на месторождениях, осуществлять геологическое сопровождение разработки месторождений нефти и газа. Способен, выполнять моделирование для оценки достоверности запасов и выбора кондиционных параметров, разработать ТЭО кондиций для участков выборочной детализации.	Требования ФГОС (ПК- 6, 7, 12) Критерий 5, АИОР (п. 5.2.3 - 5.2.10)
P3	Выпускник способен осуществлять поиски и разведку месторождений нефти, газа, газового конденсата; организовать и провести сбор, анализ и обобщение фондовых геологических, геохимических, геофизических и других данных, разрабатывать прогнозно-поисковые модели различных геолого-промышленных типов месторождений, формулировать задачи геологических и разведочных работ.	Требования ФГОС (ПК-3, 4, 7, 11, 12; ОК-4) Критерий 5, АИОР (п. 5.1, 5.2.4, 5.2.5, 5.2.14.- 5.2.15)
P4	Может совершенствовать существующие и разрабатывать новые методы и методики исследования вещества, проведения ГРП, технико-технологические решения, вести поиск новых технологий добычи и переработки руд и углеводородного сырья. Может самостоятельно выполнять лабораторные и экспериментальные геолого-геофизические и минералого-геохимические исследования с использованием современных компьютерных технологий.	Требования ФГОС (ПК 11,17; ОК-3, 5, 6) Критерий 5 АИОР (п. 5.1, 5.2.6-5.2.8)

<i>Общекультурные компетенции</i>		
P5	Обладает высоким уровнем стремления показать высокие результаты, готовностью взять на себя дополнительную ответственность Проявляет оптимизм. Задумывается о том, что выходит за рамки ситуации и др.	Требования ФГОС (ПК 11, ОК-1, 5, 8, 9) Критерий 5 АИОР (п. 5.1, 5.2.1, 5.2.12)
P6	Способен отказаться от традиционных подходов, генерировать новые идеи и подходы. Способен найти новые возможности развития в неопределенных ситуациях и др.	Требования ФГОС (ПК 9, ОК-2, 4,) Критерий 5 АИОР (п. 5.1, 5.2.4, 5.2.16)
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ПК 8, ОК-4, 7, 8) Критерий 5 АИОР (п. 5.2.6, 5.2.11-5.2.16)
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональном коллективе, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности в геологоразведочной сфере.	Требования ФГОС (ПК 11, ОК-3,) Критерий 5 АИОР (п. 5.1, 5.2.13)
P9	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-1,2 10, 11, ОК-1-4, 6) Критерий 5 АИОР (п. 5.1, 5.2.2, 5.2.12, 5.2.16)

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт Природных Ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 05.04.01 «Геология»
 Кафедра «Кафедра геоэкологии и геохимии»

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Язиков Е.Г.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2ЛМ5А	Леденгскому Роману Андреевичу

Тема работы:

«Выделение перспективных участков для выявления уранового оруденения типа «несогласия» в районе Анабарского щита по данным аэрогеофизических исследований»

Утверждена приказом директора (дата, номер)

09.03.2017 г., № 1555/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Комплект аэрогеофизических карт на площади работ в западной части Анабарского щита: карта содержаний U, Th, K масштаба 1:200 000; карта надфоновых содержаний U, Th, K масштаба 1:200 000; карты Th/U, U/K отношений масштаба 1:200 000; карта мощности экспозиционной дозы масштаба 1:200 000; сводная радиогеохимическая карта масштаба 1:200 000; карта изолиний (ΔT) масштаба 1:200 000; карта аномального магнитного поля масштаба 1:200 000; карта вертикального градиента гравитационного поля масштаба 1:200 000.

Фондовая и научная литература, научные статьи по теме исследования.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ методов измерения радиоактивности и концентрации радиоактивных элементов; – Изучение поведения радиоактивных элементов при породо- и рудообразовании; – Аналитический обзор зарубежных источников и исследование проявленности месторождений урана «типа несогласия» в аэрогеофизических полях; – Выделение перспективных участков для выявления уранового оруденения «типа несогласия» в районе Анабарского массива по данным аэрогеофизических исследований. – Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение – Социальная ответственность – Заключение
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Обзорная карта района работ</p> <p>Схема расположения площади прогнозно-поисковых работ масштаба 1:200 000 в западной части Анабарского щита.</p> <p>Комплект аэрогеофизических карт на площади работ в западной части Анабарского щита:</p> <p>Карты содержания U, Th, K масштаба 1:200 000</p> <p>Карты надфоновых содержаний U, Th, K масштаба 1:200 000</p> <p>Карты Th/U, U/K отношений масштаба 1:200 000.</p> <p>Карта мощности экспозиционной дозы масштаба 1:200 000</p> <p>Сводная радиогеохимическая карта масштаба 1:200 000</p> <p>Карта изолиний (ΔT) масштаба 1:200 000</p> <p>Карта аномального магнитного поля масштаба 1:200 000</p> <p>Карта вертикального градиента гравитационного поля масштаба 1:200 000</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Доцент кафедры ЭПР, к.э.н. Шарф И.В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Ассистент кафедры ЭБЖ Кырмакова О.С.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Введение</p>	
<p>Методы измерения радиоактивности и концентрации радиоактивных элементов</p>	
<p>Радиоактивные элементы как индикатор породо- и рудообразования</p>	
<p>Проявленность месторождений урана типа «несогласия»</p>	

в аэрогеофизических полях
Выделение перспективных участков для выявления уранового оруденения типа «несогласия» в районе Анабарского массива по данным аэрогеофизических исследований
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
Социальная ответственность
Заклучение
Приложение А. Radioactive elements as indicator of rock and ore formation.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Рихванов Л.П.	Д.Г.-М.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ЛМ5А	Леденгский Роман Андреевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2ЛМ5А	Леденгскому Роману Андреевичу

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	Геоэкологии и геохимии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Геология стратегических металлов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ)</i>	<i>Калькулирование себестоимости аэрогеофизических работ в рамках объекта по оценке перспектив выявления промышленных урановых месторождений с богатыми комплексными рудами в западной части Анабарского щита</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	1. Сборник сметных норм на геологоразведочные работы (ССН) 2. Сборник норм основных расходов на геологоразведочные работы (СНОР) 3. Инструкция по составлению проектов и смет на геологоразведочные работы
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- Налоговый кодекс РФ: - Глава 25. Налог на прибыль организация: - Статья 261. Расходы на освоение природных ресурсов; - Статья 325. Порядок ведения налогового учета расходов на освоение природных ресурсов. - Глава 34. Страховые взносы: - Статья 419. Плательщики страховых взносов; - Статья 425 Тарифы страховых взносов. - Федеральный закон от 03.07.2016 N 243-ФЗ. - Закон РФ О недрах от 21.02.1992 N2395-1 (ред. от 03.07.2016)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ условий производства ГРП</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Разработка проектно-сметной документации</i> 1. Расчет сметной стоимости подготовительного периода 2. Расчет сметной стоимости

	<i>полевых и камеральных работ</i> 3. <i>Расчет сметной стоимости компенсируемых затрат</i> 4. <i>Калькулирование общей себестоимости аэрогеофизических работ</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Поиск путей оптимизации затрат на проведение аэрогеофизических работ</i>

Перечень графического материала

Комплект аэрогеофизических карт на площади работ в западной части Анабарского щита: карты содержаний U, Th, K масштаба 1:200 000; карты надфоновых содержаний U, Th, K масштаба 1:200 000; карты Th/U, U/K отношений масштаба 1:200 000; карта мощности экспозиционной дозы масштаба 1:200 000; сводная радиогеохимическая карта масштаба 1:200 000; карта изолиний (ΔT) масштаба 1:200 000; карта аномального магнитного поля масштаба 1:200 000; карта вертикального градиента гравитационного поля масштаба 1:200 000.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шарф И.В.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ЛМ5А	Леденгский Р. А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ЛМ5А	Леденгскому Роману Андреевичу

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	Геоэкологии и геохимии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Геология стратегических металлов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	В качестве рабочего места рассматривается салон самолета АН-3Т, который использовался в качестве носителя аэрогеофизической аппаратуры, необходимой для проведения аэросъемки масштаба 1:200 000.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Анализ выявленных вредных факторов: 1. Превышение уровней шума 2. Повышенный уровень вибрации 3. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны 4. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны 5. Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне. Анализ выявленных опасных факторов: 1. Возникновение аварийных или катастрофических ситуаций, связанных с движением ВС на земле и в полете, возможность столкновения с земной поверхностью или препятствиями на земле и в полете, возможность возникновения пожара 2. Психо-физиологическая перегрузка, утомление.
2. Экологическая безопасность:	Экологическая безопасность: - анализ воздействия объекта на атмосферу; - анализ воздействия объекта на гидросферу; - анализ воздействия объекта на литосферу (земельные ресурсы и почвенно-растительный покров).

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Безопасность в чрезвычайных ситуациях: - виды ЧС на воздушном судне; - возникновение пожара; - действия и меры по ликвидации пожара и его последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: Правовые и организационные мероприятия по обеспечению безопасности в полевой экспедиции, при полете на воздушном судне.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова О.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ЛМ5А	Леденгский Роман Андреевич		

Реферат

Магистерская диссертационная работа состоит из 139 страниц, 21 рисунка, 21 таблицы, 66 источников литературы, 1 приложения.

Объект исследования – комплект аэрогеофизических карт на площади работ в западной части Анабарского щита: карты содержаний U, Th, K масштаба 1:200 000; карты надфоновых содержаний U, Th, K масштаба 1:200 000; карты Th/U, U/K отношений масштаба 1:200 000; карта мощности экспозиционной дозы масштаба 1:200 000; сводная радиогеохимическая карта масштаба 1:200 000; карта аномального магнитного поля масштаба 1:200 000; карта вертикального градиента гравитационного поля масштаба 1:200 000.

Цель работы – выделение перспективных участков для выявления уранового оруденения типа «несогласия» в районе Анабарского щита по данным аэрогеофизических исследований. Предмет исследования – проявленность месторождений урана типа «несогласия» в аэрогеофизических полях.

Актуальность исследований заключается в остром дефиците и истощении минеральной сырьевой базы урана на территории России. Проблема может быть решена путем выявления и вовлечения в промышленное освоение крупномасштабных высокорентабельных урановых месторождений с богатыми комплексными рудами на территории западной части Анабарского щита, по запасам и качеству сопоставимых с месторождениями типа «несогласия» урановорудных провинций Атабаска Канадского щита или Арнемленд северной Австралии.

Основные результаты и новизна. На основе комплексного анализа проявленности зарубежных месторождений типа «несогласия» в аэрогеофизических полях и интерпретации аэрогеофизических исследований в западной части Анабарского щита выделены перспективные участки уранового оруденения типа «несогласия», которые рекомендуются для постановки комплекса детальных геологоразведочных работ масштаба 1:50 000-1:25 000 с учётом опыта прогнозно-поисковых работ в Канаде и Австралии.

Основные определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Месторождения урана типа «несогласия» – комплексные урановорудные объекты, локализованные вблизи поверхности несогласия между метаморфизованным кристаллическим основанием древних платформ архея – нижнего протерозоя (фундамент) и перекрывающими его субплатформенными, неметаморфизованными красноцветными отложениями среднего-верхнего протерозоя (осадочный чехол).

Естественная радиоактивность – самопроизвольный, подчинённый определённому статистическому закону распада неустойчивых ядер атомов, возникших в природных условиях в результате процессов нуклеосинтеза, радиоактивных превращений или взаимодействия ядер и частиц космического излучения.

Геофизические исследования – группа методов, предназначенные для изучения верхних слоев Земли, поисков и разведки полезных ископаемых, и основанные на изучении естественных и искусственных полей Земли и физических свойств горных пород.

Тектоно-флюидитная зона – проницаемые долгоживущие зоны земной коры, в строении которых существенное значение имеют разновозрастные и разнотипные магматические, гидротермально-метасоматические и динамометаморфические образования

Реголиты – древние метаморфизованные коры выветривания месторождений типа «несогласия».

Кларк – среднее содержание химических элементов в земной коре, гидросфере, Земле, космических телах, геохимических или космохимических системах и др., по отношению к общей массе этой системы.

Обозначения и сокращения

ЕРЭ – естественные радиоактивные элементы

АГСМ – аэрогамма-спектрометрический метод

КАГС – комплексная аэрогеофизическая съемка

РЗЭ – редкоземельные элементы

УРП – ураново-рудная провинция

УРР – ураново-рудный район

ССН – структурно стратиграфическое несогласие

СФК – структурно-формационный комплекс

ТФЗ – тектоно-флюидитная зона

ТМА – тектно-магматическая активизация

ФГР – формационно-генетический ряд

ЗК – земная кора

ССН-92 – сборник сметных норм

СНОР – Сборник норм основных расходов

СОС – специальная опорная сеть

КМ – контрольный маршрут

ВС ГА – воздушное судно гражданской авиации

ПДК – предельно допустимая концентрация

Оглавление

	Введение.....	15
1	Методы измерения радиоактивности и концентрации радиоактивных элементов.....	17
1.1	Полевые радиометрические и радиогеохимические методы.....	23
1.2	Лабораторные методы.....	28
2	Радиоактивные элементы как индикатор поро- и рудообразования.....	32
2.1	Радиоактивные элементы в осадочных отложениях.....	32
2.2	Радиоактивные элементы в современных океанических и морских осадках.....	34
2.3	Радиоактивные элементы в коре выветривания.....	35
2.4	Радиоактивные элементы в метаморфических образованиях.....	36
2.5	Радиоактивные элементы в магматических породах.....	38
2.6	Радиоактивные элементы при рудо- и минералообразовании.....	39
2.7	Проявленность месторождений полезных ископаемых в радиогеохимических полях.....	42
3	Проявленность месторождений урана типа «несогласия» в аэрогеофизических полях.....	48
4	Выделение перспективных участков для выявления уранового оруденения типа «несогласия» в районе Анабарского массива по данным аэрогеофизических исследований.....	58
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	73
5.1	Условия производства аэрогеофизических работ.....	73
5.2	Расчет себестоимости подготовительного периода.....	74
5.3	Расчет себестоимости полевых работ.....	78
5.4	Расчет себестоимости камеральной обработки и интерпретации результатов аэрогеофизической съемки.....	84

5.5	Расчет себестоимости компенсируемых затрат.....	86
5.6	Расчет общей сметной стоимости аэрогеофизических работ.....	87
5.7	Поиск путей оптимизации затрат на проведение аэрогеофизических работ.....	87
6	Социальная ответственность.....	90
6.1	Производственная безопасность.....	90
6.2	Экологическая безопасность.....	98
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	101
6.4	Правовые и организационные мероприятия.....	102
	Заключение.....	108
	Список публикаций студента.....	109
	Список используемых источников.....	110
	Приложение А.....	117

Введение

В силу различных обстоятельств, Россия в начале XXI века осталась с острым дефицитом природного урана. В связи с этим существует стратегическая задача воспроизводства минерально-сырьевой базы урана России и улучшения экономической структуры ее запасов, что обеспечит потребности атомной энергетики. Проблема может быть решена путем выявления и вовлечения в промышленное освоение крупномасштабных высокорентабельных урановых месторождений с богатыми комплексными рудами, по запасам и качеству сопоставимых с месторождениями типа «несогласия» урановорудных провинций Атабаска Канадского щита или Арнемленд северной Австралии.

В 2005-2007 г. Норильским филиалом ФГБУ «ВСЕГЕИ» были осуществлены комплексные аэрогеофизические работы масштаба 1:200 000 в рамках объекта «Оценка перспектив выявления промышленных урановых месторождений с богатыми комплексными рудами в западной части Анабарского щита на основе прогнозно-поисковых работ масштаба 1:200 000-1:25 000». Район работ расположен в северо-восточной части Хатангского района Таймырского Автономного округа Красноярского края.

В диссертации осуществляется выделение перспективных участков для выявления уранового оруденения типа «несогласия» районе Анабарского массива по данным аэрогеофизических исследований. Проводится углубленный металлогенический анализ материала полученного в ходе проведения полевых поисковых работ, который позволит объективно локализовать и выделить площади, наиболее благоприятные для выявления высокорентабельных урановых месторождений с богатыми комплексными рудами, а также наметить конкретные участки для проведения крупномасштабных и детальных поисково-оценочных работ.

Цель диссертационной работы – выделение перспективных участков для выявления уранового оруденения типа «несогласия» в районе Анабарского массива по данным аэрогеофизических исследований.

Объектом исследования диссертационной работы является комплект аэрогеофизических карт на площади работ в западной части Анабарского щита: карты содержаний U, Th, K масштаба 1:200 000; карты надфоновых содержаний U, Th, K масштаба 1:200 000; карты Th/U, U/K отношений масштаба 1:200 000; карта мощности экспозиционной дозы масштаба 1:200 000; сводная радиогеохимическая карта масштаба 1:200 000; карта аномального магнитного поля масштаба 1:200 000; карта вертикального градиента гравитационного поля масштаба 1:200 000.

Предметом исследования диссертационной работы являются проявленность месторождений урана типа «несогласия» в аэрогеофизических полях.

Практическая значимость результатов диссертационной работы состоит в выделении наиболее благоприятного для локализации уранового оруденения типа «несогласия» участка в западной части Анабарского массива и рекомендации проведения на этом перспективном участке комплекса детальных геологоразведочных работ масштаба 1:50 000-1:25 000 с учётом опыта прогнозно-поисковых работ в Канаде и Австралии. Результаты исследования могут быть использованы для выделения перспективных участков для выявления уранового оруденения типа «несогласия» по данным аэрогеофизических исследований на стадии геолого-прогнозных работ масштаба 1:200 000.

1 Методы измерения радиоактивности и концентрации радиоактивных элементов

Измерение радиоактивности и определение содержания радиоактивных элементов в минеральном веществе земной коры может быть выполнено с помощью разнообразных методов лабораторного анализа (химических, физико-химических, ядерных и др.) и с применением широкого комплекса полевой радиометрии. Применение столь обширного комплекса возможно лишь при условии строгого контроля качества и сопоставимости получаемых данных, а также при учете вклада отдельных изотопов в общий баланс радиоактивности [1].

Естественная радиоактивность представляет собой самопроизвольный, подчинённый определённому статистическому закону распада неустойчивых ядер атомов, возникших в природных (земных или галактических) условиях в результате процессов нуклеосинтеза, радиоактивных превращений или взаимодействия ядер и частиц космического излучения. Радиоактивный распад атомов изменяет строение, состав и энергию ядер и сопровождается испусканием α -, β -частиц или захватом электрона из K- или L- оболочки, коротковолновым излучением электромагнитной природы (γ -излучение), выделением радиогенного тепла, ионизацией газов, жидкостей и твёрдых тел и другими явлениями [2].

Естественная радиоактивность верхней оболочки Земли обусловлена наличием в горных породах большого количества неустойчивых радиоактивных изотопов различных элементов. Естественные радиоактивные элементы по условиям образования и нахождения в земной коре разделяются на группы.

1) Долгоживущие радиоактивные элементы (тяжелые), образовавшиеся в начальный (догеологический) этап развития планеты и являющиеся родоначальниками трех естественных радиоактивных семейств: урана $^{238}_{92}\text{U}$,

актиноурана AcU ($^{235}_{92}\text{U}$) и тория $^{232}_{90}\text{Th}$. Содержание этих элементов в земной коре постепенно уменьшается в соответствии с периодами их полураспада.

2) Короткоживущие радиоактивные элементы — дочерние продукты распада урана, актиноурана и тория, входящие в состав этих семейств. Нахождение в земной коре многочисленной группы этих элементов, являющихся основными β - и γ -излучателями горных пород, полностью зависит от содержания родоначальников семейств. Избирательное «отделение» дочерних элементов (иония, радия, радона) в результате каких-либо геохимических процессов (выщелачивания, эманирования) приводит к их быстрому (в геологическом понимании) исчезновению (распаду).

3) Долгоживущие одиночные (легкие и тяжелые) радиоактивные элементы ($^{40}_{19}\text{K}$, $^{87}_{37}\text{Rb}$, $^{147}_{62}\text{Sm}$ и др.), не образующие семейств и возникшие в начальную (догеологическую) эпоху развития Земли. Их содержание в земной коре постепенно уменьшается со скоростью, определяющейся периодом полураспада изотопов.

4) Радиоактивные изотопы (преимущественно легкие и короткоживущие: азот, углерод), возникающие в атмосфере, гидросфере и литосфере в результате взаимодействия космических частиц с атомными ядрами вещества Земли.

Можно предположить, что число радиоактивных элементов на Земле было значительно больше, но многие изотопы с периодом полураспада $(3\div 5)\cdot 10^8$ лет к настоящему времени полностью или почти полностью распались.

Вклад перечисленных элементов в радиоактивность земной коры и генерацию тепла различен. Основная доля β - и γ -излучения горных пород земной коры связана с радиоактивным распадом элементов трех семейств (U, AcU, Th и дочерних продуктов) и калия. Более 99% радиогенного тепла, генерируемого в недрах планеты, также обусловлено этими элементами [1].

Все радиоактивные элементы семейств урана ($^{238}_{92}\text{U}$), актиноурана ($^{235}_{92}\text{U}$) и тория ($^{232}_{90}\text{Th}$) находятся в радиоактивном равновесии. Радиоактивное

равновесие в ряду распада считается нарушенным, если соотношение активностей членов одного ряда не равно единице.

Нарушение равновесия возникает в результате перемещения одних членов ряда относительно других из системы (либо в систему) на расстояние, превышающее размеры системы, и за время, более короткое, чем время восстановления радиоактивного равновесия. Причины нарушения радиоактивного равновесия в рядах распада обусловлены геохимическими различиями отдельных членов ряда в одних и тех же физико-химических условиях среды.

Геохимические особенности каждого члена ряда определяются химическими свойствами элемента, изотопом которого является данный радионуклид и факторами, связанными с радиоактивной природой радионуклида. Этих факторов несколько: позиция радионуклида в ряду распада, скорость его распада, энергия радиоактивной отдачи, концентрация радионуклида в окружающей среде и присутствие носителя радиоэлемента.

Химические свойства элементов, изотопами которых являются члены природных рядов распада, достаточно сильно различаются. В природных условиях торий существует в одной степени окисления +4, а U – в двух степенях окисления +4 и +6. В окислительной обстановке, характерной для экзогенных условий, уран переходит в свою высшую степень окисления U (VI) и существует в форме крупного комплексного катиона уранила UO_2^{2+} способного к образованию устойчивых в растворах комплексных ионов. Ионы тория 4+ устойчивы в растворах лишь в кислой среде и проявляют склонность к гидролизу и комплексообразованию.

Данные физические и химические факторы обуславливают различное поведение членов одного и того же ряда в конкретных физико-химических условиях среды и в конечном итоге могут приводить к нарушению радиоактивного равновесия [3].

Также важная характеристика радиоактивности – энергетический спектр излучения или интервал распределения энергии. Энергия α , β и γ -излучения

каждого радиоактивного элемента строго постоянна и заключена в определенном спектре. Жесткое гамма-излучение характеризует каждый радиоактивный элемент определенным энергетическим спектром. Так для наблюдения гамма-лучей ^{40}K используется энергетический спектр 1460 кэВ, гамма-лучей ^{214}Bi при 1760 кэВ из радиоактивного ряда урана и гамма-лучей ^{208}Tl при 2615 кэВ из радиоактивного ряда тория. По суммарной интенсивности гамма-излучения можно определить наличие радиоактивных элементов, а по энергетическому спектру излучений определяется концентрация урана, тория или калия-40 [4].

Опишем методы изучения радиоактивности и содержания радиоактивных элементов в горных породах и минералах, приведем оценку их достоверности и правильности.

При изучении радиоактивности горных пород, минералов и определении содержания в них радиоактивных элементов применяются различные методы, использующие разнообразные физические (в первую очередь радиоактивные) и другие свойства урана, тория и продуктов их распада, а также последствия радиоактивности (радиационные дефекты кристаллической решётки минералов, радиогенные продукты распада).

Основными методами (табл. 1), используемыми в ядерной геофизике и ядерной геохимии, являются:

1) радиометрические (полевые и лабораторные) методы определения α -, β - и γ -активности и оценки содержания радиоактивных (естественных и искусственных) элементов по уровню активности образцов;

2) радиохимические (лабораторные) методы определения содержания радиоактивных элементов, включающие химическое выделение изотопов и последующее измерение их активности;

3) радиографические (лабораторные) методы оценки пространственного распределения урана и тория в горных породах и минералах;

Таблица 1 – Методы измерения радиоактивности и определения содержания радиоактивных элементов в горных породах и минералах

Метод	Модификация метода и методики	Прибор	Измеряемая характеристика или элемент	Единица измерения	Относительная случайная погрешность, %	Пределы измеряемых концентраций и интенсивностей	Требования к препаратам (масса, истирание)
1	2	3	4	5	6	7	8
Полевые методы							
Гамма-съёмка	Пешеходная, каротажная, автомобильная, воздушная	СРП, Зонд РА, АРС	Мощность дозы (интенсивность γ -излучения)	мкР/ч	10-20	2-1500 мкР/ч и выше	-
Гамма-спектрометрическая съёмка		СП, ПРКС АГС, АСГ	Мощность дозы (интенсивность γ -излучения), содержание Ra, Th	имп/с, мкР/ч, %	20-30	до 10000 имп/с, от $n \cdot 10^{-4}$ до 1 % U и Th и выше	-
Бета-съёмка		ПГР	Интенсивность γ - и β -излучения в эквивалентах мкР/ч	имп/с, мкР/ч	10-20	3-1000 мкР/ч	-
Эманационная съёмка	Радоновая, тороновая	СГ, ЭМ	Концентрация Rn и Th в почвенном воздухе, воде и т. д.	эман, Ки/л	20-30	0,1-5000 эман	-
Лабораторные методы							
Радиометрические:							
гамма-спектрометрический метод	-	ЛСУ-5к	Интенсивность γ -излучения, содержание Ra, Th	имп/с, %	10-30	$> 5 \cdot 10^{-4}\%$	Порошки, более 100 г
бета-метод	-	Б-2	Интенсивность γ - и β -излучения, содержание Ra, Th, U	имп/с, г/г, %	10-30	$> 10 \cdot 10^{-4}\%$	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
альфа-метод	-	СГ, РАЛ	Интенсивность α -излучения, содержание Th, U	имп/с, г/г, %	10-20	$> 3 \cdot 10^{-4}\%$	Порошки, 10-20 г
Радиохимический	-	СГ, РАЛ	Содержание Ra, Th	г/г, %	5-15	$> 0,3 \cdot 10^{-10} \% \text{ Ra},$ $> 2 \cdot 10^{-4} \% \text{ Th}$	
Колориметрический	Экстракционный, ионно-обменно-хроматографический	ФЭК, СФ	Содержание U и Th	г/г, %	5-10 ($\geq 1 \cdot 2 \cdot 10^{-4}$) 20-40 ($< 1 \cdot 10^{-4}$)	$\geq n \cdot 10^{-5}\%$	Порошки, 0,5-2 г
Люминесцентный	В. С. Быковой, ЦАЛ-1, ЦАЛ-2 и др.	ЛЮФ, ФАС	Содержание U	г/г, %	5-15 ($> 2 \cdot 0^{-4}\%$) 15-30 ($< 1 \div 2 \cdot 10^{-4}$)	$\geq n \cdot 10^{-5}\%$ (ЦАЛ-2) $\geq n \cdot 10^{-4}$	Порошки, 0,2-1 г, до 200 меш.
Рентгеноспектральный	-	ФРС, АРФ	Содержание U и Th	г/г, %	5-10 ($> 2 \cdot 10^{-4}$) 10-30 ($\leq 1 \div 2 \cdot 10^{-4}$)	$\geq 1 \div 2 \cdot 10^{-5}\%$	Порошки, 10-20 г
Изотопного разбавления	-	МИ	Содержание U, реже Th	г/г, %	3-6	$\geq n \cdot 10^{-7} - n \cdot 10^{-4}\%$	Порошки, 1-2 г
Нейтронно-активационный	-	АИ	Содержание U и Th	г/г, %	3-6	$\geq n \cdot 10^{-8}\%$	Порошки, 5-10 г
Радиографические:							
альфа-метод	-	-	Пространственное распределение атомов	-	-	$\geq n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-3}\%$	Пришлифованные препараты
метод треков	-	-	Содержание U	г/г, %	5-10 (треки)	$\geq n \cdot 10^{-8}\%$	-

4) люминесцентные методы определения урана по свечению плава (лабораторные методы) или вторичных урановых минералов – отенита, шрекенгерита (полевые и лабораторные методы);

5) колориметрические (лабораторные) методы оценки содержания урана и тория с предварительным химическим концентрированием элементов;

6) рентгеноспектральные (лабораторные) методы определения урана и тория;

7) нейтронно-активационные (преимущественно лабораторные) методы определения содержания и формы нахождения урана [2].

1.1 Полевые радиометрические и радиогеохимические методы

Наиболее быстрым и достаточно точным методом изучения радиоактивности горных пород земной коры является полевая радиометрия, позволяющая непосредственно в поле оценивать суммарную β - и γ -активность пород, а в ряде случаев и содержание в них главнейших радиоактивных элементов: урана, радия, тория, калия [1].

Цель полевых исследований – получение объективной информации о составе и свойствах исследуемых объектов. Основной задачей этих работ является получение необходимой информации непосредственно на объекте, включая радиометрические, гамма-спектрометрические полевые исследования и отбор представительных проб для лабораторных исследований [5].

Применение полевых радиометрических методов основано на измерении интенсивности главным образом β -излучения (бета-съемка) и γ -излучения (гамма-съемка), концентрации радиоактивных эманаций по естественному альфа-излучению почвенного воздуха (эманационные радоновая и тороновая съемки), а также на использовании разного энергетического состава γ -излучения (гамма-спектральная съемка). Малая проникающая способность α -излучения практически исключает прямое его использование в полевых условиях (если не считать измерения концентрации эманаций). По этой же

причине резко ограничены и возможности бета-съемки. Поэтому наибольшее применение в прикладной радиогеологии для определения радиоактивности горных пород получили разные модификации гамма-съемки.

Эманационная съемка — это измерение содержания газообразных продуктов распада радиоактивных веществ. Наибольшим периодом полураспада из радиоактивных газов обладает радон (3,82 дня), поэтому данная съемка преимущественно радоновая. Методика съемки заключается в отборе проб воздуха с глубины до 1 м и определению концентрации радона в нем при помощи прибора. Масштабы съемок 1:2000 - 1:10000 [3].

В связи с поглощением основной части γ -излучения первыми 10—20 см породы на результаты гамма-съемки влияют в основном радиоактивные элементы, сосредоточенные в полусфере (сфере) радиусом 10— 20 см, что соответствует объему породы массой 300—500 кг и площади (с поверхности) около 1 м². Основными γ - излучателями в урановых и ториевом рядах являются короткоживущие продукты распада радиоактивных эманаций (RaC', RaC'' и др.). В связи с этим использование модификаций гамма-съемок для качественной и количественной оценки содержания урана и тория в горных породах возможно лишь при условии равновесия между изотопами в соответствующих радиоактивных семействах. При этом наибольшее значение имеют равновесные соотношения между ураном и радием, оцениваемые коэффициентом равновесия ($K = Ra/U \cdot 100\%$).

В слабовыветрелых горных породах в аридных и гумидных зонах в подавляющем большинстве пород существуют равновесные соотношения, исключение составляют лишь кварцевые порфиры и фельзиты. Нарушение равновесия в урано-радиевом ряду значительно чаще фиксируется в выветрелых горных породах на участках месторождений и рудопроявлений урана, где наложенные процессы приводят к существенному увеличению содержания легкоизвлекаемого урана.

Разработаны разные варианты гамма-съемки (пешеходная, автомобильная, каротажная, воздушная), при проведении которых используется

аппаратура преимущественно на счетчиках сцинтилляционных и Гейгера-Мюллера. Эти методы, которые применяются в основном при поисках радиоактивных руд, могут быть использованы и при радиогеохимических исследованиях для быстрой оценки общей (суммарной) радиоактивности горных пород [1].

Аэрогамма-съемка – метод радиометрии, в которой проводится регистрация интенсивности естественного γ -излучения с летающего средства. Масштаб 1:200000 - 1:25000.

Автогамма-съемка — скоростная наземная гамма-съемка, осуществляемая при движении автотранспорта. Масштабы 1:2000 - 1:10000.

Пешая (наземная) гамма-съемка – основной метод радиометрии, проводимый при прохождении геофизических маршрутов. Масштаб 1:25000 - 1:50000 [4].

Более перспективен при радиогеохимических исследованиях гамма-спектрометрический метод (ГСМ) отдельного определения содержания урана (по радию), тория и калия непосредственно на месте залегания горных пород. Метод также имеет пешеходный, автомобильный, самолетный и каротажный варианты и позволяет в значительной степени сокращать трудоемкие операции по геохимическому опробованию и получать результаты непосредственно в поле после проведения цикла измерений на обнажениях [1].

Метод гамма спектрометрии основан на измерении спектрального состава естественного гамма излучения поверхностного слоя горных пород с последующим вычислением в этих образованиях содержаний естественных радиоактивных элементов, таких как уран, торий, калий. Методы гамма спектрометрии по сущности, методике и технике наблюдений относятся к геофизическим методам, хотя решают и геохимические задачи. Полевые методы характеризуются малой глубиной исследований вследствие быстрого поглощения гамма квантов воздухом и породами. Они находят широкое применение при литологическом и тектоническом картировании, в

поисках парагенетически или пространственно связанных с естественными радиоактивными элементами нерадиоактивных полезных ископаемых.

Определение радиоактивных элементов методами гамма спектрометрии в полевых условиях отличается уникальной мобильностью, экспрессностью, высокой чувствительностью и точностью для решения радиогеохимических задач. Метод позволяет использовать статистический подход в радиогеохимических исследованиях, регулировать проведение полевых работ, наблюдать и оценивать динамику изменения радиогеохимических параметров горных пород, руд и минералов в процессе их геологического изучения, производить опробование с надежным определением трех естественных радиоактивных элементов [6].

Воздушный вариант гамма спектрометрии позволяет с необходимой точностью фиксировать концентрации радиогеохимических элементов в горных породах и рудах. Результаты аэрогамма-спектрометрии свидетельствуют о высокой эффективности при решении таких геологических задач, как геологическое картирование, поиски месторождений флюиодогенного типа (урана, редкоземельных элементов, цветных и благородных металлов), а также изучение интенсивности и характера проявления наложенных процессов. Результаты аэрогамма-спектрометрии позволяют получать качественную информацию, сопоставимую с соответствующими по масштабу пешеходными съемками. По оценкам, при решении аналогичных задач аэросъемка дешевле наземных работ в 2,5–10 раз.

Высокая чувствительность метода позволяет эффективно регистрировать кларковые содержания естественных радиоактивных элементов в верхнем слое горных пород. При наличии даже незначительной дифференциации естественных радиоактивных элементов удастся расчленять стратифицированные образования, обнаруживать и фиксировать неоднородность строения интрузивных комплексов (кислых, щелочных). Зоны дизъюнктивных дислокаций, подвергшиеся метасоматическим и гидротермальным преобразованиям, благодаря, нарушению в них равновесного

состояния естественных радиоактивных элементов уверенно отображаются в результатах расчета их отношений или в надфоновых концентрациях радиоактивных элементов. Благодаря этому аэрогамма спектрометрия как независимо, так и еще более эффективно в комплексе с другими геофизическими методами находит свое широкое применение на этапе оценки перспективности рудоконтролирующих и рудовмещающих структур, при поисках месторождений радиоактивных, редких, цветных и благородных металлов.

Карты содержаний урана, тория и калия, полученные в результате аэрогамма-спектрометрической съемки, а также их различные трансформации (функции содержаний) позволяют решать геологические задачи как определение элементов геологического строения изученной территории (литологическое и тектоническое картирование); поиски месторождений радиоактивного сырья; изучение характера и интенсивности проявления наложенных процессов (метасоматоза) и поиски месторождений гидротермального типа (поиски нерадиоактивных полезных ископаемых парагенетически или пространственно связанных с естественными радиоактивными элементами) [6].

Опыт воздушных съемок свидетельствует о том, что результаты аэрогамма-спектрометрии зависят от целого ряда факторов: содержания радиоактивных элементов в горных породах, радиоактивности и мощности наносов, степени обнаженности регионов и т. д.

В хорошо обнаженных, в большинстве своем резко пересеченных районах, где преобладают процессы механического выветривания, результаты аэрогамма-спектрометрии достаточно точно и объективно отражают распределение урана (по радию), тория и калия в горных породах и могут использоваться для надежной радиогеохимической характеристики геологических формаций. В регионах, где площадь коренных обнажений не превышает 70—80 % и отмечается разное сочетание выходов горных пород и задернованных участков, геологическая и геохимическая интерпретация

результатов аэрогамма-спектрометрии и их увязка с конкретными литологическими средами представляют более сложную задачу. Это связано с тем, что радиоактивность элювиально-делювиальных, пролювиальных и других отложений, формирующихся в результате выветривания в условиях аридного и гумидного климатов, в большинстве случаев не отвечает первичным концентрациям элементов в материнских почвообразующих породах [1].

1.2 Лабораторные методы

Радиогеохимическое изучение геологических формаций, несмотря на широкое внедрение полевой гамма-спектрометрии, связано с выполнением большого объема лабораторных определительных работ. Цель лабораторных исследований – достоверная оценка содержания урана и тория в горных породах и минералах и определение форм нахождения урана и тория в них.

Существует широкий комплекс методов для количественного определения низких содержаний урана и тория в сложных по минеральному и химическому составу природных веществах (табл. 1). Главные из этих методов следующие.

1) Радиометрические методы определения тория, радия, урана и других элементов, основанные на измерении интенсивности радиоактивного излучения (α , β и γ или их сочетания).

2) Радиохимические методы, включающие химическую обработку проб (разложение пород, извлечение радиоактивных изотопов), их концентрирование и последующее радиометрическое измерение, и химическое определение содержания урана и тория.

3) Люминесцентный метод определения урана по интенсивности свечения плава, активированного ураном, в ультрафиолетовых лучах. Метод основан на способности урана давать свечение под действием ультрафиолетовых лучей. Люминесцентный анализ урана может быть

использован при изучении содержания элемента практически во всех типах минералов и горных пород (кроме магматических ультраосновного состава) [1].

При помощи этого метода можно легко установить в породе мельчайшую вкрапленность люминесцирующих вторичных урановых минералов, неуловимых невооружённым глазом. Этот метод с успехом применяется для выявления строения смешанных кристаллов и тонких агрегатов. Минералы, содержащие в своём составе медь, железо, марганец, свинец и висмут, не люминесцируют. Люминесценцию гасят или значительно ослабляют кремний и ванадий, поэтому силикаты и ванадаты урана не люминесцируют или люминесцируют очень слабо [7].

4) Колориметрический метод определения урана и тория с предварительным концентрированием элементов ионообменным, экстракционным или другим способом. Метод основан на способности многовалентных ионов этих элементов образовывать прочные окрашенные внутрикомплексные соединения с рядом реагентов. Колориметрический метод анализа позволяет определять уран и торий из одной навески, что резко повышает производительность, так как наиболее трудоемкой операцией химических и физико-химических методов анализа является разложение проб и отделение мешающих элементов [5].

5) Рентгеноспектральный флюоресцентный метод определения урана и тория, основанный на использовании вторичного рентгеновского излучения урана и тория, образующегося при воздействии первичным рентгеновским излучением. Достоинством этого метода являются независимость результатов от состояния равновесия в радиоактивных рядах, отсутствие влияния распада других элементов и возможность анализировать порошок пробы без предварительной химической обработки [1].

6) Нейтронно-активационный метод определения урана и тория. Метод основан на регистрации наведенной активности, полученной в результате облучения пробы потоком нейтронов. При длительном облучении можно определять очень низкие количества элементов ($10^{-6} - 10^{-8} \%$). Нейтронно-

активационный метод нашел широкое применение при анализе низких содержаний многих редких и рассеянных, в том числе и радиоактивных элементов. Благодаря этому методу стало возможным радиогеохимическое изучение наименее радиоактивных природных объектов – изверженных ультраосновных пород (дунитов, пироксенитов), метеоритов и других образований с высокой чувствительностью и точностью [1].

7) Методы радиографии. В основе макрорадиографии находится способность радиоактивных веществ оказывать влияние на эмульсионный слой фотоматериала, происходит почернение участков проявленного негатива, которые контактировали с радиоактивным веществом.

Микрорадиография – более чувствительный метод. Он основан на анализе количества и характера альфа-частиц, попавших в эмульсию фотопластинки (специальная с толстым слоем эмульсии, чувствительная к альфа-частицам) с исследуемой поверхности минерала (породы) и позволяет выяснить природу радиоактивного начала.

Метод помимо визуального анализа «видимой» картины распределения радиоактивности в горных породах и минералах, используются для количественной оценки содержания радиоактивных элементов. Количественное определение урана и тория возможно при изучении следов α -частиц с помощью микроскопа при увеличении порядка 60–100х. Плотность следов α -частиц на единицу площади подсчитывают, учитывая степень неоднородности распределения радиоактивных элементов и используя переводные коэффициенты, найденные по минералам-эталонам [1, 7].

Разновидностью природной радиографии являются наблюдаемые в минералах треки осколков ($^{140}_{56}\text{Ba}$, $^{130}_{54}\text{Xe}$ и др.) спонтанного деления урана $^{238}_{92}\text{U}$. Благодаря высокой кинетической энергии и значительной массе, осколки нарушают кристаллическую структуру минерала, оставляя на пути следования дефектные области (треки), которые можно наблюдать в микроскоп. Поврежденные участки кристаллических решеток отличаются повышенной растворимостью при травлении минералов в соответствующих реагентах, в

результате следы тяжелых частиц (треки) можно наблюдать в оптический микроскоп в виде каналов. В отличие от иных дефектов в структуре минерала, треки прямолинейны и беспорядочно ориентированы [1].

Метод изотопного разбавления является высокочувствительным методом количественного анализа элементов, имеющих два или более природных изотопа. Он основан на смешении раствора анализируемого образца с точно известным количеством трассера (стандарта), который по изотопному составу резко отличается от природного элемента. После химического выделения определяют масс-спектрометрографом изотопный состав смеси (природный элемент + трассер) и по степени изменения соотношения изотопов вычисляют содержание природного элемента [1].

Для изучения остаточных явлений радиоактивности в ядерной геологии наиболее широко используются методы изучения радиационных дефектов с помощью петрографических способов (плеохроичные ореолы), термолюминесценции и электронного парамагнитного резонанса, а также определение радиогенных продуктов распада гелия и изотопов свинца (масс-спектрометрическим или изотопно-спектральным анализом).

По чувствительности и точности все лабораторные методы могут быть объединены в три группы:

1) ядерно-физические (нейтронно-активационные, изотопного разбавления, радиографические – по трекам индуцированного деления), обладающие наиболее высоким порогом чувствительности ($n \cdot 10^{-8}$ – $n \cdot 10^{-6} \%$) и точностью (≤ 3 – 5%);

2) физико-химические и физические (люминесцентный, колориметрический, рентгеноспектральный, радиометрический) с несколько меньшими порогом чувствительности ($n \cdot 10^{-5}$ – $n \cdot 10^{-4} \%$) и точностью (≤ 5 – 15%);

3) химические (весовой, объёмный) с наименьшим порогом чувствительности ($\geq n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-2} \%$) [2].

2 Радиоактивные элементы как индикатор породо- и рудообразования

Радиоактивные элементы присутствуют в горных породах и минералах в различных формах. Обычно выделяют следующие формы нахождения урана и тория: собственные минералы урана и тория; изоморфное вхождение в другие минералы; элементы, сорбированные на органическом веществе, глинистых минералах, фосфатах, гидроокислах железа; элементы, рассеянные в горной породе вне связи с конкретными минералами (в поровых растворах, на участках дислокации в кристаллах).

Радиоактивность горных пород и руд тем выше, чем больше концентрация в них естественных радиоактивных элементов семейств урана, тория, а также калия-40 [8].

Для магматических, гидротермально-метасоматических и метаморфических пород типична собственная минеральная форма нахождения урана и тория, форма изоморфного вхождения в неурановые минералы и рассеянная атомарная и молекулярная форма. Для водных растворов типична ионная и коллоидная форма в разных соотношениях. В осадочных породах в равной мере присутствуют как формы, заимствованные у эндогенных образований, так и широко распространенные сорбционные и органо-минеральные формы нахождения [5].

2.1 Радиоактивные элементы в осадочных отложениях

Осадочные породы играют существенную роль в геохимическом балансе радиоактивных элементов, особенно урана, большая часть которого в приповерхностной зоне земной коры теснейшим образом связана с песчано-глинистыми и другими отложениями.

Осадочные отложения имеют широкий диапазон содержания урана и тория и ряд геохимически специализированных (обогащенных радиоактивными элементами) комплексов пород. Закономерное появление этих комплексов в

истории геологического развития подвижных поясов и чехла платформ отмечает эпохи сингенетического накопления урана и тория. Формирование первично обогащенных ураном осадочных отложений (углеродисто-кремнистые сланцы, битуминозные известняки, каустобиолиты) тесно связано с распределением и накоплением в зоне литогенеза органического вещества $C_{орг}$. Среди осадочных пород с нормальным содержанием $C_{орг}(<0,3\div0,5\%)$ по радиоактивным свойствам выделяют пять групп терригенные, кремнистые, карбонатные, соленосные отложения и каустобиолиты [9].

Наиболее высокое первичное содержание урана и тория (близкое к кларку) характерно для терригенных осадков: конгломератов, песчаников, глинистых сланцев. В терригенных осадках обнаруживается зависимость содержания урана (меньше тория) от гранулометрического состава пород, выражающаяся в постепенном увеличении содержания урана в ряду: конгломераты-песчаники-алевролиты-аргиллиты. Прямая связь содержаний урана и тория с количеством глинистых частиц обусловлена их ролью переносчиков тория и сорбентов урана. Соотношение и содержание урана и тория в аргиллитах зависят от их минералогического состава. В частности, установлено, что максимальное содержание тория свойственно гидрослюдистым, а урана — каолинитовым аргиллитам. По-видимому, большая часть тория переносится в бассейн седиментации адсорбированной на частицах глины или гидроокислах железа.

Содержание урана в фосфоритах и фосфорсодержащих породах колеблется в широких пределах (от 0,002 до 0,03%, иногда выше). Содержание урана возрастает с увеличением количества фосфора, а содержание тория в фосфоритах, как правило, не превышает $(5\div10)\cdot10^{-4}\%$. Низкое содержание тория является характерной особенностью осадочных фосфоритов и резко отличает их от апатитсодержащих гидротермальных тел [1].

2.2 Радиоактивные элементы в современных океанических и морских осадках

В современных осадочных отложениях морей и океанов содержание урана колеблется в довольно широких пределах (от $0,2 \cdot 10^{-4} \%$ до $100 \cdot 10^{-4} \%$ и выше), что свидетельствует о высокой миграционной способности элемента в связи с возросшей геохимической активностью биогенных факторов. В морях относительно повышенные концентрации урана тяготеют к впадинам, в океанах – к шельфовой зоне и континентальному склону [5].

Наряду с осадками, имеющими нормальное содержание радиоактивных элементов, установлены донные отложения с повышенной радиоактивностью. Обогащение илистых осадков донных отложений связано с восстановлением урана, находящегося в виде карбонатного комплекса, до четырехвалентного состояния. Это происходит в придонной зоне (в верхней части иловых вод), где резко изменяется потенциал E_h , также значительная часть урана сорбируется органическим веществом.

Уран, поступающий в океан в растворенном состоянии, частично фиксируется в шельфовой зоне, сорбируясь органическим веществом, гидроксидами железа и марганца, фосфатами и др. Обогащение ураном происходит путем сорбции их гидролизных или ионных форм коллоидными частицами гидроокисей железа и марганца. Аномальные концентрации урана тесно связаны с повышенными количествами органического или фосфатного вещества.

В отличие от урана, торий находится в донных осадках океанов и морей в сравнительно низких и одинаковых количествах (в 3—4 раза ниже кларка). Бедность современных осадков торием объяснима его низким содержанием и слабой способностью к миграции в водах. В связи с этим большая часть тория концентрируется механическим путем в прибрежно-морских россыпях или в алеволито-глинистых отложениях прибрежных зон (монацитовые, циркон-ильменитовые) [1].

Повышенное содержание радиоактивных элементов в донных осадках обусловлено двумя процессами: избирательным выщелачиванием из взвешенных частиц породообразующих элементов и соосаждением урана и тория в осадки с глинистыми минералами, железомарганцевыми конкрециями и др. Роль первого фактора более значительна, Th^{4+} , слабо мигрируя в водных растворах, неохотно переходит в растворенное состояние, поэтому происходит его относительное концентрирование в донных осадках при выщелачивании легкорастворимых элементов [5].

2.3 Радиоактивные элементы в коре выветривания

В каждом типе коры выветривания достаточно отчетливо проявлена вертикальная зональность, которая выражена в закономерном присутствии трех горизонтов: нижнего – дезинтеграции; среднего – гидрослюдисто-каолинитового по гранитоидам, сланцам, песчаникам; верхнего – глинистого (каолинитового).

При выветривании пород отмечается небольшое уменьшение содержания урана, радия и тория в зоне дезинтеграции. Это связано с увеличением пористости пород и выносом вследствие этого урана и радия в процессе механического и химического преобразования. Наиболее характерной особенностью этого горизонта является значительное изменение формы нахождения урана, проявляющееся в резком увеличении содержания его легкорастворимой (подвижной) разности.

По сравнению с зоной дезинтеграции в среднем гидрослюдисто-каолинитовом горизонте фиксируется повышенное содержание урана, радия и значительно реже тория. Обычно радиоактивных элементов (особенно, урана) в среднем горизонте больше по отношению не только к другим горизонтам, но и к материнским породам. Обогащение этого горизонта ураном и радием связано с их накоплением глинистым материалом. Главными сорбентами урана и тория

являются минералы – монтмориллонит, каолинит, иллит, гидроокислы железа и марганца.

В верхнем горизонте коры выветривания фиксируется значительное уменьшение содержания урана и радия, и увеличение тория.

В латеритной коре, резко обогащенной гидроокислами алюминия и железа, часто отмечается повышенное содержание тория до $(50\div 70) \cdot 10^{-4}\%$, что связано с накоплением в горизонтах выноса устойчивых к разрушению акцессорных минералов и сорбцией тория глинистыми частицами [9].

2.4 Радиоактивные элементы в метаморфических образованиях

Среди метаморфических пород, слагающих области докембрийской складчатости, срединные массивы и геоантиклинальные поднятия, по содержанию урана и тория выделяют две группы образований: слаборадиоактивные (мафические силикатные породы: амфиболиты, амфиболитовые сланцы, аподиабазы; кварциты и карбонаты: мраморы, кальцифиры) и породы с нормальной или слабо повышенной радиоактивностью (фельсические гнейсы, кристаллические сланцы, порфириоиды, метаморфизованные песчаники). Различие радиоактивных свойств этих групп пород хорошо увязывается с различием их первичного химического состава.

Наиболее высокие содержания радиоактивных элементов, но не превышающие обычно $6 \cdot 10^{-4} \%$, урана и $(25\div 30) \cdot 10^{-4} \%$, тория, фиксируются в фельсических метаморфических породах, богатых калием: в биотит-полевошпатовых гнейсах и кварц-серицитовых сланцах эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций. Среди высокордиоактивных метаморфических пород выделяются существенно ураноносные ($\text{Th}/\text{U} < 2$) углеродистые или графитоносные сланцы, в которых повышенное содержание урана связано с процессами его сингенетического накопления, и ториеносные ($\text{Th}/\text{U} > 2$) биотит-плагиоклазовые ортогнейсы и порфириоиды. Уровень радиоактивности

роговообманковых и биотит-роговообманковых гнейсов и кристаллических сланцев амфиболитовой фации несколько ниже.

Уменьшение уровней содержания урана и тория происходит на фоне меньшего по интенсивности понижения концентрации калия. Падение радиоактивности фельсических пород тесно увязывается также с потерей породами воды и углекислоты при дегидратации минералов и возникновении минеральных парагенезов с повышенной плотностью кристаллических структур. Таким образом, общей радиогеохимической особенностью продуктов прогрессивного регионального метаморфизма является уменьшение радиоактивности с увеличением степени метаморфизма. При этом существенного повышения содержания урана и тория в породах эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций не наблюдается. Уровень их радиоактивности в лучшем случае не выше, чем для неметаморфизованных осадочных пород и вулканитов. Осадочные отложения с повышенным содержанием органики при метаморфизме несколько обедняются ураном [9].

В целом среди метаморфических пород — продуктов регионального динамотермального и контактового метаморфизма — по содержанию урана и тория различаются лишь образования, метаморфизованные в условиях амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций. В продуктах более высоких ступеней метаморфизма (гранулитовые фации) содержание радиоактивных элементов практически выравнивается во всех типах пород.

Существенное изменение радиоактивности горных пород вызывают процессы ультраметаморфизма и гранитизации. В разных фациальных зонах метаморфизма фиксируется обычно проявление нескольких стадий ультраметаморфизма и гранитизации, с которыми связано возникновение мигматитов и разных по составу метасоматических гранитов с закономерно понижающейся основностью и повышающейся щелочностью пород от древних к более молодым.

В стадию гранитизации и мигматизации метаморфических пород формируются неравновесные минеральные парагенезы с существенным

привнесом ряда компонентов, в частности калия (в результате проявления процессов кремне-калиевого метасоматоза). При этом происходит дальнейшая мобилизация вещества и радиоактивных элементов предшествующих фаз ультраметаморфизма и избирательное перемещение в расплав наиболее кислых разновидностей гранитоидов. В результате этих процессов продукты микроклинизации наиболее обогащены калием, ураном и торием. В калишпатизированных порфиробластических гнейсах, аляскитовых гранитах и пегматитах резко увеличивается торий-урановое отношение благодаря большому количеству ториеносных акцессориев (торита и монацита) [1].

2.5 Радиоактивные элементы в магматических породах

Для изверженных пород известково-щелочной серии наиболее характерной радиогеохимической особенностью является постепенное возрастание содержания урана и тория в ряду ультраосновные породы→основные→средние→кислые, пропорционально увеличению кремнезема и калия. Среди магматических образований известково-щелочной серии повышенное содержание урана и тория, превышающее кларк, и избыточные формы элементов характерны лишь для кислых пород (граниты и липариты).

Магматические образования (интрузивные и эффузивные) повышенной щелочности в общем случае характеризуются более высокой радиоактивностью по сравнению с близкими по кислотности породами известково-щелочной серии, что отмечается как в ультраосновных — щелочных породах, так и в трахитах и трахилинаритах. В ряде случаев повышенная радиоактивность щелочных пород обусловлена широко проявленными постмагматическими процессами (щелочным метасоматозом).

Интенсивное перераспределение урана и тория при грейзенизации (лейкократовые граниты), щелочном метасоматозе (нефелиновые сиениты), а также появление постмагматических локальных концентраций урана и тория

свидетельствует о геохимической специализации интрузивных и вулканогенных образований [1].

2.6 Радиоактивные элементы при рудо- и минералообразовании

Метасоматоз, гидротермальные и другие процессы вызывают изменения вмещающих пород, сопровождаются преобразованием структуры радиохимических полей, которое проявляется в возникновении аномальных концентраций естественных радиоактивных элементов. Причиной данного явления выступает различие миграционных свойств урана, тория и калия. В результате этих изменений нарушается равновесное соотношение естественных радиоактивных элементов, сопровождаемое образованием радиогеохимической зональности, которая соответствует определенному типу преобразования, что и создает методическую основу применения в радиогеохимии. Поэтому данные зоны уверенно отображаются в результатах расчета отношений или в надфоновых концентрациях радиоактивных элементов [9].

В большинстве случаев содержания калия и, особенно, урана и тория в рудоносных зонах нерадиоактивных полезных ископаемых гидротермального генезиса оказываются близкларковыми или слабо повышенными. Но с одной стороны, породообразующий элемент калий, одновременно являющийся важнейшим компонентом гидротермальных растворов, резко меняющий свое поведение на различных температурных ступенях гидротермальных процессов, с другой - пара радиоактивных рассеянных элементов, особенности движения (привноса - выноса) которых также тесно связаны с физико-химическим режимом среды. Так, четырехвалентные уран и торий кристаллохимически аналогичны и в силу этого обладают идентичными миграционными свойствами. Последнее часто выражается в сходном их поведении в процессах магматической дифференциации, а также во многих случаях в высокотемпературных гидротермальных процессах. Шестивалентный уран по своей миграционной способности резко отличается от тория и поэтому в

средне-низкотемпературных гидротермальных условиях их расхождение закономерно [10, 11, 12].

Известно также сродство в высокотемпературных гидротермах тория и калия и противоположное их поведение для средних и низких температур. Таким образом, пары элементов U/Th, Th/K, особенности их соотношений могут выступать в качестве индикаторов определенных ступеней гидротермальных процессов и их интенсивности. Это имеет прямое отношение к рудообразованию, поскольку в общем случае руда находится там, где гидротермальный процесс шел от начала до конца, в безрудных же зонах он часто вырожден [13].

На месторождениях золота перераспределение радиоактивных элементов при рудообразовании, активность движения калия при минералообразовании возрастает от ранних к поздним стадиям рудогенеза: от дорудных гидротермальных образований эпидот-хлоритового состава к предрудным кварц-серицитовым метасоматитам и рудным гидрослюдисто-адуляровым метасоматитам. Содержание калия еще более резко возрастает в зальбандах золоторудных жил, тогда как содержания тория и урана понижаются. Также зона адуляризации фиксирует интервал резкого увеличения щелочности гидротермальных растворов и характеризуется концентрацией калия в твердой фазе, выносом тория и созданием благоприятной обстановки для накопления урана, а также золота, серебра и молибдена [10, 11].

Среди большого разнообразия минералов земной коры в зависимости от уровня их радиоактивности и распределения радиоактивных элементов выделяются шесть групп главных породообразующих и акцессорных минералов (табл. 2) [1].

Таблица 2 – Классификация гипогенных и гипергенных минералов по степени их радиоактивности

Группы минералов	Минералы	Уровень содержания, вес %		Th/U	Кларк концентрации		Радио-геохимическая характеристика
		U	Th		U	Th	
Максимально радиоактивные (собственно урановые и ториевые минералы)	Гипогенные уранинит, настуран, торианит и другие	56-85	20-40	<0,01 (урановые) 40-80 (ториевые)	>10000	>10000	Минералы урановых и ториевых руд, редко акцессорные
	Гипергенные отенит, торбернит, шрекингерит	40-60	<0,01	<0,001	>10000	-	
Высокорadioактивные (редкие акцессории фельсических пород)	Циртолит, циркон, ториевый ортит	400- $2000 \cdot 10^{-4}$	400- $1000 \cdot 10^{-4}$	<1	100-1000	10-100	Минералы-концентраторы урана в магматических породах и россыпях
	Ортит, монацит	600- $2000 \cdot 10^{-4}$	10000- $30000 \cdot 10^{-4}$	>10	100-1000	100-1000	
Повышенно радиоактивные (наиболее распространённые акцессории)	Сфен, апатит, магнетит	10- $100 \cdot 10^{-4}$	30- $200 \cdot 10^{-4}$	2-5	5-30	2-15	Второстепенные минералы-носители урана и тория
Нормально радиоактивные (второстепенные породообразующие минералы)	Биотит, роговая обманка	4-8 10^{-4}	8-18 10^{-4}	1,5-2,3	2-3	1-2	Минералы-носители урана и тория
Слабо радиоактивные (главные минералы фельсических пород)	Кварц, калиевый полевой шпат, кислые плагиоклазы	1-3 10^{-4}	2-8 10^{-4}	1,8-4,5	0,5-1	0,2-0,5	Главные минералы-носители урана и тория
Низкорadioактивные (минералы фемических пород)	Пироксены, основные плагиоклазы	<0,1- $1 \cdot 10^{-4}$	<0,1- $1 \cdot 10^{-4}$	2-5	<0,2	<0,2	Главные минералы-носители урана и тория

Анализ поведения естественных радиоактивных элементов в различных геологических процессах позволил выделить следующее:

1) Участкам с повышенной концентрацией калия могут отвечать: выходы на поверхность пород с первично повышенным содержанием калия; делювиальные конуса выноса; участки долин водотоков с повышенной мощностью глинистых отложений; участки разгрузки подземных вод, размывающих соли с высоким содержанием калия.

2) Участкам с повышенной концентрацией урана и пониженным Th/U отношением могут отвечать: выходы на поверхность пород с первично повышенным содержанием урана, в частности, угольных пластов, древних битумов или фосфоритов; участки долин водотоков, характеризующихся застойным гидродинамическим режимом; участки разгрузки подземных вод, размывающих породы с высоким содержанием урана;

3) Участкам с повышенной концентрацией тория и повышенным Th/U отношением могут отвечать: выходы на поверхность пород с первично повышенным содержанием тория; останцы кор выветривания; участки с повышенными мощностями почвенных отложений; делювиальные конуса выноса; участки накопления шлиха и глинистого материала в речном аллювии.

2.7 Проявленность месторождений полезных ископаемых в радиогеохимических полях

Метасоматизм, гидротермальные и различные другие процессы, геохимическое сходство поведения радиоактивных и рудных элементов, зависимость содержаний радиоактивных элементов и величины торий-уранового отношения от содержания рудных компонентов создают радиогеохимическую зональность месторождений полезных ископаемых. Всё это проявляется в корреляции между содержанием отдельных радиоактивных элементов и составом полезных компонентов месторождений и обеспечивает высокую эффективность применения радиометрических методов, в частности

гамма спектрометрического метода, при поисках месторождений углеводородного сырья, золота, серебра, олова, молибдена и вольфрама, полиметаллов, кобальта и никеля, фосфора и алмазоносных кимберлитов [14, 15].

Для золоторудных объектов характерна четкая корреляция золота с аномалиями общей радиоактивности и составляющих урана и калия, рудные зоны обладают резко повышенным содержанием калия (привнос K) при пониженных значениях для тория и урана (вынос U, Th). Тесная непосредственная связь процессов разобращения калия и тория с процессом рудоотложения создает возможность использования количественных отношений калия и тория в качестве радиогеохимического критерия продуктивности рудного тела (рис. 1) [12, 15].

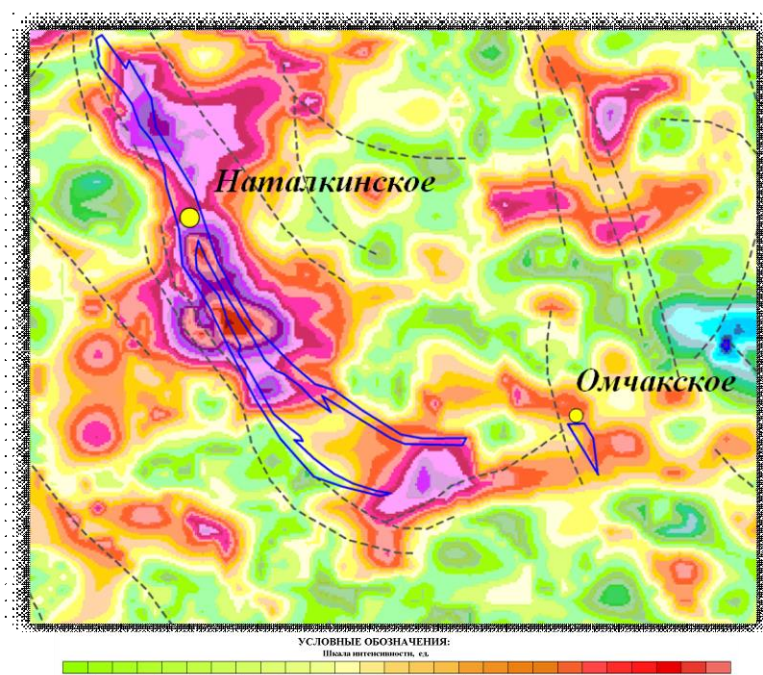


Рисунок 1 – Карта разности значений концентрации калия и тория Наталкинского месторождения (по данным НФ ВСЕГЕИ)

Области повышенных, относительно фона, концентраций калия при слабо повышенных концентрациях тория и фоновых урана ($Th/U > 1$) благоприятны на обнаружение оловорудных месторождений слабопроявленных

в современном эрозионной срезе. При значительной эродированности рудного поля появляются аномальные концентрации урана и тория. Повышенные концентрации калия заканчивают концентрическую радиогеохимическую зональность, образуя внешний ее контур [12].

Характерные особенности месторождений бокситов – повышенная естественная радиоактивность четко выраженной ториевой природы и высокие торий-урановые отношения (Th/U) – 3-8 (иногда до 29), концентрации калия не превышают десятых долей процента [14].

Многие кимберлитовые трубки проявляются на фоне вмещающих пород повышенными концентрациями тория и пониженными – для калия и урана. По показателю общей радиоактивности вокруг контура алмазоносных трубок формируются контрастные аномалии урана и калия, превышающие фон в среднем на 2 порядка, при этом центральная часть трубки характеризуется пониженными значениями гамма-поля (рис. 2) [18].

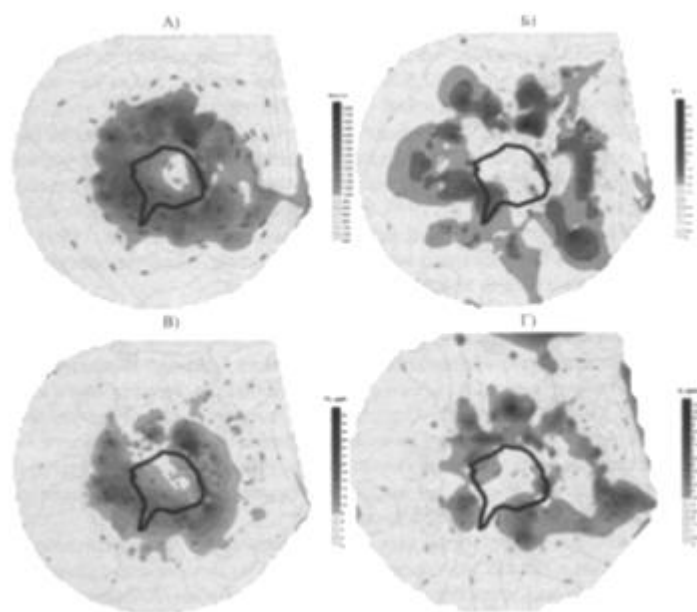


Рисунок 2 – Распределение радиоактивных элементов в породах трубки
Архангельская (по Е.Ю. Яковлеву):

А) - суммарная интенсивность гамма-излучения (имп/сек), Б) - распределение содержания калия (%), В) - концентрация тория (ppm), Г) - концентрация урана (ppm)

Месторождения руд редких и редкоземельных элементов характеризуются повышенной радиоактивностью, что связано с тесной геохимической ассоциацией многих редких элементов, редких земель и циркония с радиоактивными элементами, которая основана на изоморфизме и парагенезисе данных элементов. Легкие РЗЭ содержат торий, а тяжелые – уран, что проявляется в аномалиях различной природы. Существует корреляционная связь между РЗЭ, торием и ураном, которая имеет практическое значение в геологических исследованиях месторождений редкоземельных элементов [16, 17]. Особенно эффективны самолетные измерения, с помощью которых были открыты крупные месторождения редких элементов, включающих литий, бериллий, цезий, тантал, ниобий, цирконий, иттрий, редкие земли. Так, для эндогенных месторождений: месторождения нещелочной формации характеризуются преобладанием содержания урана над торием. Гидротермальные месторождения и некоторые типы пневматолито-гидротермальных месторождений $Th/U > 1$. Месторождения щелочной формации характеризуются резким преобладанием тория над ураном $Th/U \gg 1$ [14].

В связи с тем, что рудные минералы гатчеттолит и пироклор являются главными концентраторами урана и тория, руды тантала и ниобия имеют отчетливую геохимическую зональность. Высокие содержания урана при $Th/U \ll 1$ служат указанием на тантало-ниобиевый тип оруденения, в то же время высокие содержания тория при $Th/U \gg 1$ указывают на существенно ниобиевый тип оруденения.

Рудопроявления бериллия картируются по повышенным значениям γ -поля выраженной ториевой природы.

Положительные аномалии ториевой или торий-урановой специализацией ($Th/U \gg 1$), приуроченные к долинам рек или к придолинным территориям, как участки локализации устойчивых к разрушению акцессорных минералов в составе фаций терригенных отложений, обогащенных минералами

тяжелой фракции («шлихом») являются косвенными поисковыми признаками россыпных месторождений золота.

Месторождения фосфоритов, характеризующиеся парагенетическими связями с радиоактивными элементами, проявляются по повышенной радиоактивности урановой природы ($\text{Th}/\text{U} \rightarrow 1$). Установлена прямая корреляционная зависимость между содержанием пятиоксида фосфора и урана. Содержание тория и калия в фосфоритах в 2—3 раза ниже кларка вмещающих осадочных пород. Месторождения калийных солей выделяются по повышенным значениям калиевого спектра [14].

При благоприятных условиях рудные зоны, а в частности зоны окисления месторождений меди и полиметаллов проявляются по повышенной радиоактивности урановой природы (наличие радиоактивных минералов меди, урана, сорбированного урана). Месторождения металлов свинца, цинка, ванадия, который является сингенетичным урану, кобальта, никеля, мышьяка, висмута благодаря наличию урановых минералов (урановая смолка) отличаются высокой радиоактивностью урановой природы по сравнению с вмещающими породами (рис. 3) [15].

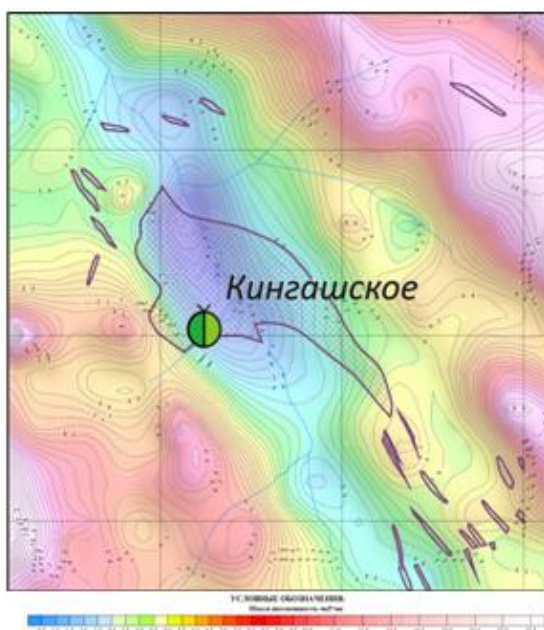


Рисунок 3 – Карта мощности экспозиционной дозы Кингашского медно-никелевого месторождения (по данным НФ ВСЕГЕИ)

Распределение радиоактивных элементов в минералах, рудах и горных породах создает основу для сравнительной радиогеохимической оценки территории и геохимического районирования перспективных площадей. Учитывая, что радиоактивные элементы являются чувствительными индикаторами разных процессов, радиогеохимические исследования можно использовать для решения различных задач: изучения направления и интенсивности эндогенных и экзогенных геологических процессов, металлогенического районирования и прогнозирования, поиска месторождений радиоактивных и нерадиоактивных руд золота, серебра, олова, молибдена и вольфрама, полиметаллов, кобальта и никеля, фосфора, алмазоносных кимберлитов.

3 Проявленность месторождений урана «типа несогласия» в аэрогеофизических полях

В мире существует большая группа урановых месторождений, которые не проявлены или слабо проявлены с поверхности в гамма- и гамма-спектрометрических полях. К их числу относятся месторождения типа «несогласия», хотя и первые месторождения ураново-рудных провинций (УРП) Атабаска Раббит-Лейк, Ки-Лейк и Мидуэст и были обнаружены при аэрорадиометрических поисках по развалам радиоактивных валунов, дальнейшие радиометрические поиски в восточной части впадины оказались безуспешными [18, 19]. Исходя из этого, целенаправленный поиск месторождений традиционными радиометрическими методами зачастую затруднителен и требует комплексирования и привлечения ряда других методов структурной и разведочной геофизики [20].

Как показывают работы в известных УРП, залогом успеха поисков является стадийность – переход от мелкомасштабных прогнозных работ к крупномасштабному специализированному картированию, одним из обязательных элементов которой служат прогнозные работы масштаба 1:200 000 [21]. При поисках слабо проявленных месторождений типа «несогласия» в Канаде и Австралии ведущими были признаны нерадиометрические геофизические методы, а главными — методы обнаружения проводящих графитсодержащих горизонтов в фундаменте, позволившие обнаруживать такие проводники на глубинах более 500 м [19, 20].

На стадии среднемасштабного прогноза (1:200 000), наряду с общепринятыми методами структурной геофизики (гравиметрическая, магнитная съемки, АГС-метод), приобретают все большее значение методы электроразведки. Проведенный анализ применимости аэрогеофизических методов на стадии среднемасштабного прогноза месторождений типа «несогласия» указывается ниже:

1) методы электроразведки (особенно в электромагнитной модификации) занимают ведущее положение; на их результатах основывается последовательная локализация перспективных площадей [21]. Методами аэроэлектроразведки может производиться картирование комплексов пород и тектонических нарушений с высокой электропроводностью, проводящих зон крутопадающих графитсодержащих пластов под покровом песчаников Атабаска мощностью до 700 м [22]. В определенных случаях удается разбраковывать зоны, не связанные с графитсодержащими горизонтами и иными геологическими элементами (разрывными нарушениями) [23]. Урановое оруденение месторождений типа «несогласия» имеет пространственную ассоциацию с горизонтами и зонами сульфидсодержащих пород «пестрой серии» и, особенно, графитсодержащих пород основания. Эти горизонты, называемые «кондукторами», характеризуются минимумами кажущегося электрического сопротивления ρ_k , на порядок и более отличающимися от вмещающих пород [21]. Мощности платформенного чехла также определяются по значениям кажущегося электрического сопротивления, для субплатформенных впадин – $n \cdot 100 \div 2000$ Ом·м, для фундамента – $1000 \div 6000$ Ом·м). Также снижением электрического сопротивления (до $n \cdot 10 \div 100$ Ом·м) характеризуются проявления гидротермально-метасоматических изменений (пропилиты, изменения аргиллизитового и эйситового типов, турмалин-слюдистые изменения) [24].

2) методы магнитной съемки позволяют изучать литологию и структуру погребенного складчатого фундамента, производить картирование проявлений субщелочного базальтоидного магматизма (дайковые серии), оценивать мощность осадочного чехла. Магнитные поля УРП обусловлены метаморфическими (амфиболитовая фация) преобразованиями пород кристаллического фундамента, в составе которого присутствуют породы с разной магнитной восприимчивостью: немагнитные сильнометаморфизованные графитизированные метапелиты (электронные проводники) и хрупкие магнитные метааркозы и метасубпелиты [21, 25]. Происходит повышение

магнитной восприимчивости пород с увеличением их компетентности (графитовые метапелиты - субметапелиты - метааркозы), то есть с ослаблением магнитных свойств увеличиваются пластичность пород и степень их метаморфизма. Именно участки смены пород разной компетентности являются наиболее благоприятными для рудолокализации (рис. 4, 5, 6).

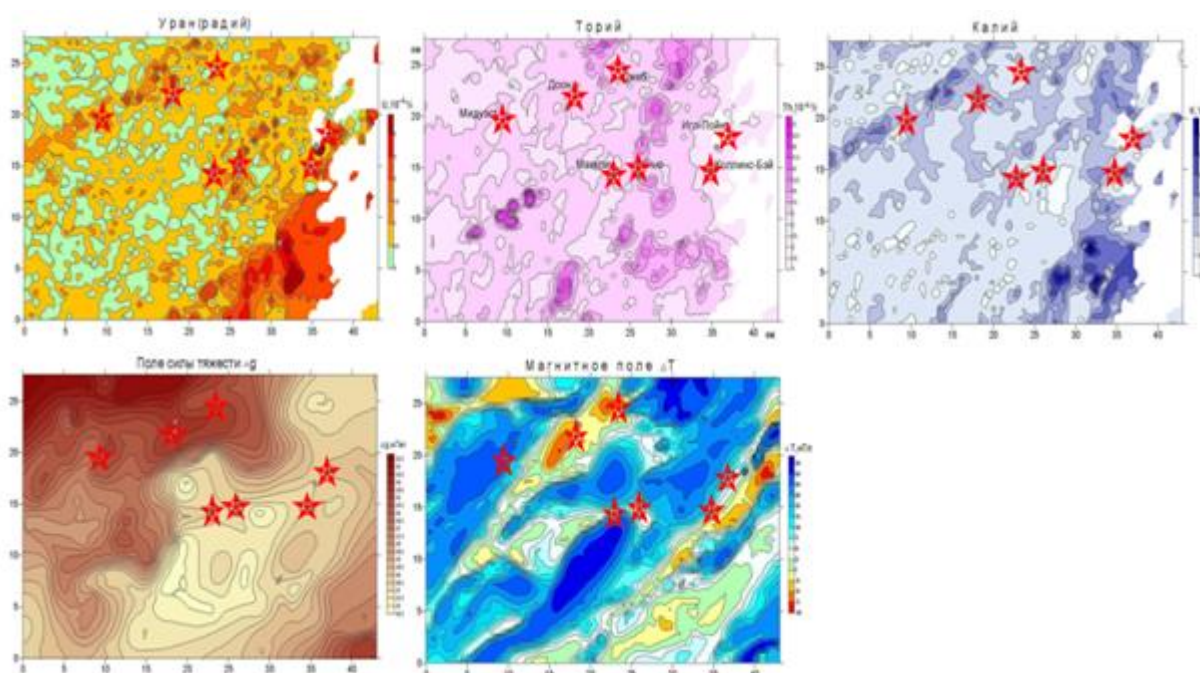


Рисунок 4 – Результаты комплексных исследований ураново-рудного района Раббит-Лейк (Е.М. Cameron, Uranium Exploration in Athabasca Basin)

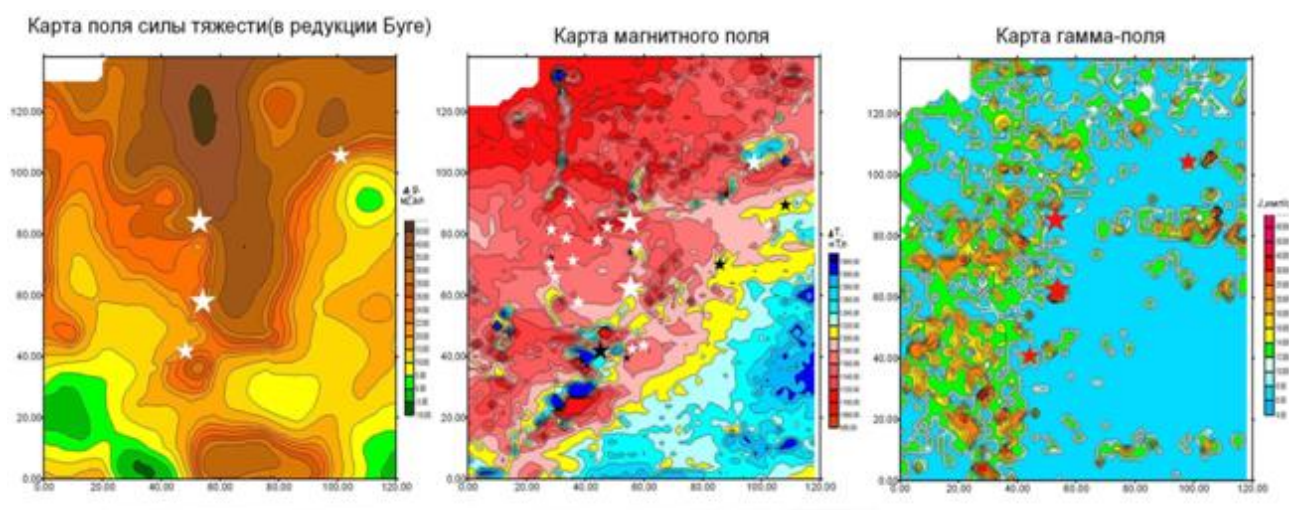


Рисунок 5– Результаты комплексных геофизических и аэрорадиометрических исследований УРР Аллигейтор-Ривер (J. Ferguson, Uranium in the Pine Creek)

Также в магнитном поле выделяются аномалии, иногда высокой интенсивности ($n \cdot 10^3$ нТл), связанные с проявлением контактово-метасоматических изменений пород фундамента в процессе его гранитизации и гидротермально-метасоматических изменений вдоль нарушений [19, 25].

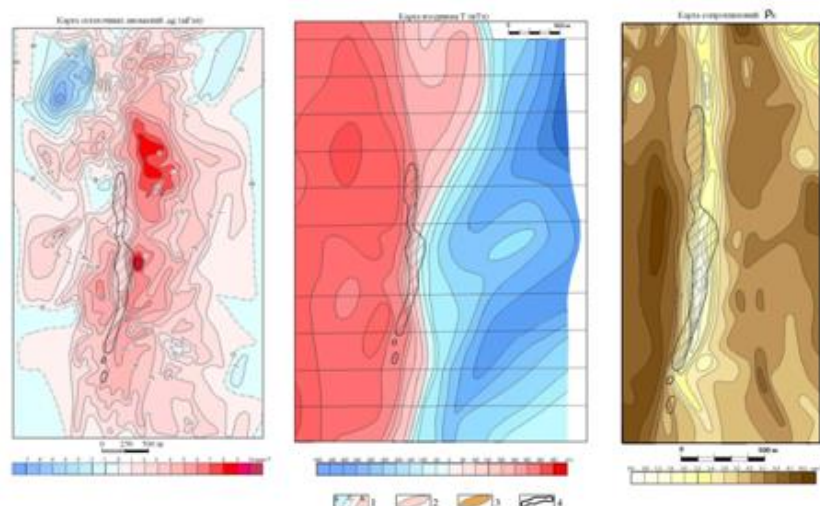


Рисунок 6 – Результаты гравимагнитных и электроразведочных исследований месторождения Мидуэст (D.E. Ayres, Geology of the Midwest Uranium Deposit): 1-изоаномалы в $\text{мкс} \cdot \text{с}^{-2}$: а - отрицательные, б - нулевые, в - положительные; 2 - значение напряженности магнитного поля в ΔT в нТ; 3 - значения удельного электрического сопротивления в $\text{Ом} \cdot \text{м}$; 4 - проекция рудной залежи на дневную поверхность

3) для решения структурных задач применяется гравиразведка; она эффективна при моделировании глубинного разреза как района в целом, так и отдельных рудных полей и локальных перспективных структур. Месторождения типа «несогласия» представляют собой обширные региональные ареалы дорифейской гранитизации и связанные с ней зоны высокотемпературных образований, сформированные за счет трансформации «пестрых серий» и подстилающих комплексов [19, 26]. Они фиксируются масштабными зонами разуплотнением земной коры на полную ее мощность, а в краевых частях этих зон достигают минимумов Δg в -90 мГал («ось Атабаска»). Гравитационные поля УРП характеризуют степень гранитизации пород

фундамента, для практически неизменных пород «останцев» характерно более высокое гравитационное поле ($\sigma = 2760 \text{ кг/м}^3$, свыше -54 мГал), для полностью гранитизированных пород оно снижается до -62 мГал и менее ($\sigma = 2620 \text{ кг/м}^3$) (рис. 4, 5, 6) [25, 27].

4) воздушные радиометрические съемки имеют ограниченное применение. На общем низком радиоактивном фоне пород платформенного чехла отчетливо выделяются аномальные полосы, обусловленные развалами «радиоактивных валунов». Однако в ряде случаев зафиксированы интенсивные радиометрические аномалии (более $20\text{—}30 \text{ мкР/час}$) на общем низком фоне (менее $2\text{--}3 \text{ мкР/час}$), что явилось прямым указанием на наличие ряда месторождений (Клаф-Лейк и др.) [28].

Развалы радиоактивных валунов, мигрировавшие вместе с ледником в юго-западном направлении, являются причиной формирования зон повышенной радиоактивности и в определенной мере – ореолов рассеяния рудных элементов и ионов в водах и осадках озер. В ряде случаев ореолы изменений и рудной минерализации по унаследованным разломам в платформенном чехле достигают его кровли и к моменту четвертичного оледенения были на дневной поверхности (рис. 7).

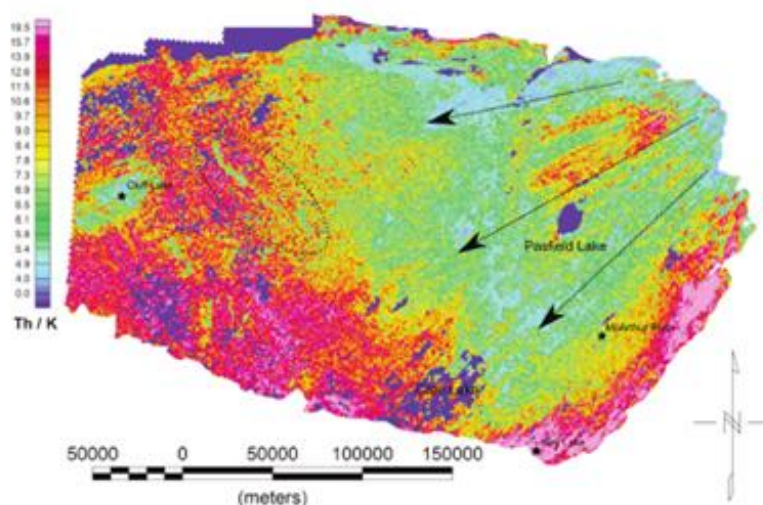


Рисунок 7 – Карта Th/K отношения бассейна Атабаска (R. Fortin, Ground-truthing of the Eastern Athabasca Basin regional airborne gamma-ray survey)

Проведенная в бассейне Атабаска региональная аэрогамма-спектрометрическая съемка показала, что центральные части бассейна, выполненные кварцевыми песчаниками рифея, имеют низкий фон <3 мкР/час. Радиометрические аномалии в 6-15 мкР/час наблюдаются в северной части территории над породами кристаллического фундамента и в восточной части блока Волластон (рис. 4, 8) [25, 29].

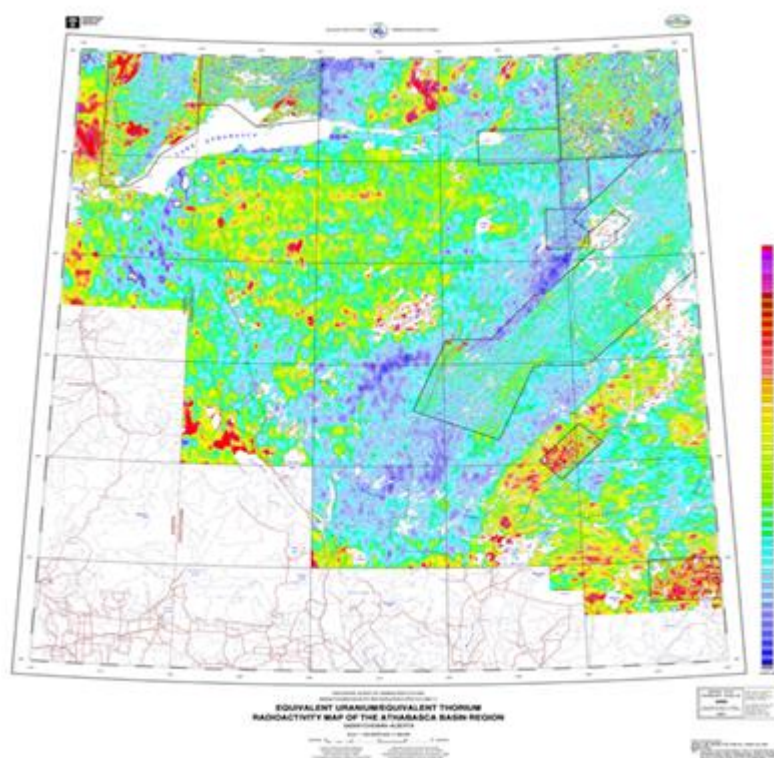


Рисунок 8 – Карта Th/U отношения бассейна Атабаска (J M. Carson, Geological Survey of Canada)

Проведенная в пределах территории Пайн-Крик рекогносцировочная аэрогамма-спектрометрическая съемка показала относительно высокий радиометрический ее фон — около 5 мкР/час, в том числе в районах, перекрытых палеозойскими осадочными породами. Крупные аномалии и низкая величина Th/U (0,02) выявлены над урановыми месторождениями Набарлек, Рейнджер и Кунгарра [30]. Практически все месторождения ураново-рудного района (УРР) Аллигейтор-Ривер были открыты при наземной проверке

аэrorадиометрических аномалий. Рудные залежи окружены ареалами метасоматически измененных пород, для которых характерны повышенные концентрации урана и тория во внешней зоне [31].

Рассматривая радиогеохимические особенности рудных и перспективных структур, контролирующих месторождения «типа несогласия» (рис. 9), отмечается следующее.

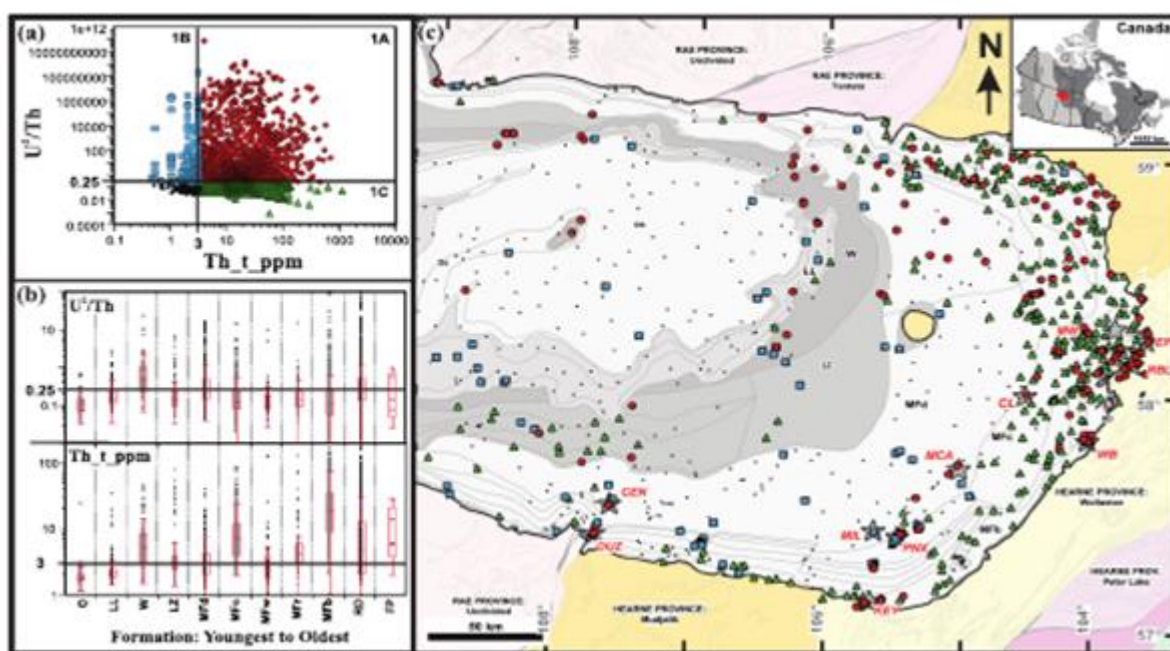


Рисунок 9 – Статистические и пространственные ассоциации геохимических особенностей рассеяния ($U^2/Th-Th$) бассейна Атабаска (D.M. Wright, Application of Regional Geochemical Datasets to Uranium Exploration in the Athabasca Basin):

а) Диаграмма рассеяния б) диаграмма размаха группы формаций Атабаска в) пространственное распределение в пробах (глубина < 50 м). Серые звезды - месторождения и залежи (CEN = Centennial, CLF = Cluff Lake, EP = Eagle Point, DUZ = Dufferin Lake Zone, KEY = Key Lake, PNX = Phoenix, MIL = Millennium, MCA = McArthur River, CL = Cigar Lake, WB = West Bear, MW = Midwest, RBL = Rabbit Lake). Athabasca Group (youngest to oldest): Ob – Otherside Fm, Birkbeck Member; Oa – Otherside Fm, Archibald Member; LL – Locker Lake; W - Wolverine Point Fm; LZ – Lazenby Lake Fm; Manitou Falls Formations: MFd –Dunlop Member; MFc – Collins Member; MFb –Bird Member; and RD – Read Formation)

1) кристаллический фундамент (AR-PR₁) в целом характеризуется общим повышенным радиогеохимическим фоном, типичным для сиалических блоков земной коры (3-4 г/т);

2) характерно наличие специализированных ураноносных пород (гранитов, гранито-гнейсов, кислых вулканитов, углеродистых и углеродсодержащих сланцев и гнейсов) и развитие многочисленных рудопроявлений и мелких месторождений урана других генетических типов в фундаменте;

3) типичны интенсивная дифференцированность и высокая «рудоподготовленность» пород, обусловленные воздействием термальных факторов и динамометаморфизма. Осадочные комплексы чехла характеризуются низким радиогеохимическим фоном (0,5-0,7 г/т) [21].

Краткий обзор методов, критериев и признаков для поисков и разведки месторождений типа «несогласия», разделенных на геохимические и геофизические методы и ранжированных в порядке их важности (цифры в квадратных скобках), представлен на рисунке 10.

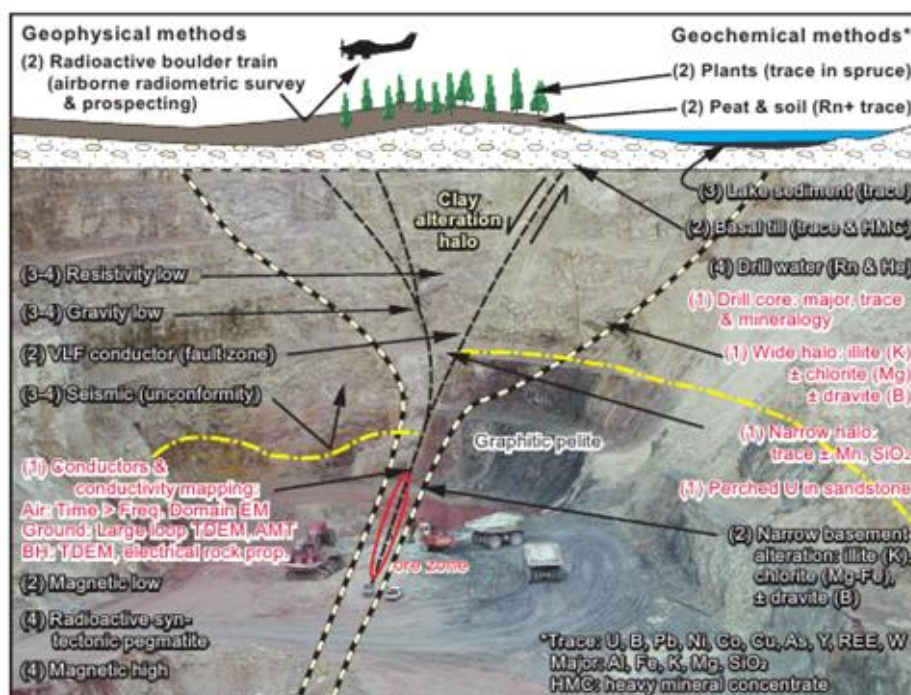


Рисунок 10 – Критерии и признаки для разведки месторождений «типа несогласия» (E.G. Potter, Unconformity-related Uranium Deposits Synthesis)

Основа для формирования рационального комплекса геофизических исследований на стадии геолого-прогнозных работ масштаба 1:200 000 для месторождений «типа несогласия» представлена в таблице 3.

Таблица 3 - Геофизические критерии месторождений «типа несогласия»

Типоморфные структуры и обстановки	Геофизические критерии
Поля ультраметаморфической гранитизации	Области локального понижения гравитационного поля Δg ($-n$ мГал) на фоне регионального минимума
«Останцы» слабогранитизированных пород основания с сохранившимися высокоуглеродистыми метаморфическими образованиями	1. Локальные положительные аномалии Δg ($n \div n \cdot 10$ мГал) на фоне региональных минимумов 2. Сложнодифференцированное магнитное поле с высокой энтропией (4-5) 3. Линейные зоны повышенной электропроводимости
Пограничные зоны долгоживущих разломов	1. Смена уровней гравитационного, магнитного полей 2. Зоны повышенных горизонтальных и вертикальных градиентов Δg .
Дайковые пояса	Локальные линейные, криволинейные, изометричные положительные аномалии магнитного поля ($n \cdot 10 \div n \cdot 1000$ нТл)
Сочетание крутопадающих «сквозных» разломов основания и пологих неоднородностей в зоне ССН	1. Зоны минимумов ρ_k , H_x , H_y -составляющих электромагнитного поля и максимум его H_z составляющей 2. Зоны минимума Δg ($0, n \div n$ мГал)
Горизонты сульфид- и графитсодержащих пород основания	1. Зоны минимума H_x , H_y , максимума H_z электромагнитного поля 2. Аномалии ВП ($n \div n \cdot 10\%$)
Интенсивное развитие околорудных изменений вмещающих пород и платформенного чехла вблизи разломов (хлоритизация, гематизация, иллизация)	1. Зоны минимума H_x , H_y , максимума H_z электромагнитного поля, ρ_k 2. Аномалии вертикального градиента вектора магнитного поля T
Малые гранитные интрузии	Локальные отрицательные аномалии Δg ($n \div n \cdot 10$ мГал)
Контрастные геохимические барьеры	Аномалии ЕП ($\Delta U_{еп}$ до $n \cdot 100$ мВ)
Аномальные концентрации урана в высших формах растительности	Аномалии урана в золе веток ели (до $100 \cdot 10^{-4} \%$)
Аномалии концентраций урана в почвенных водах	Аномалии урана в концентратах адсорбции волокнистых сорбентов (до $n \cdot 1000$ на фоне $50 \cdot 10^{-7}$ г/л)
Аномалии урана в почвенных пробах	Аномалии подвижного урана в ионно-солевом комплексе (ИСК) поровых растворов почвенных проб

Отмечается то, что выбор рационального комплекса исследований, который позволил бы достоверно прогнозировать месторождения типа «несогласия», зависит от особенностей исследуемой территории — характера физико-ландшафтных обстановок, ее геологического строения. Также на выбор комплекса влияет наличие или отсутствие наследования рудоконтролирующих структур фундамента в породах чехла [32].

Месторождения типа «несогласия» являются комплексными рудными объектами с региональными геохимическими особенностями и набором важных элементов, поэтому необходимо уделять внимание геохимическому распределению различных элементов. Анализ зон привноса-выноса должен проводиться для главных рудных элементов (Au, Ag, Cu, Co, Ni, Pb, Mo). Необходимо рассматривать их пространственную приуроченность к той или иной геологической обстановке, типам региональных метасоматитов. Также необходимо проводить геохимические исследования растений (золы веток ели), донных отложений озер, радоновую съемку почвы и изучение метасоматических изменений окколорудных пород (хлоритизация, иллитизация). Проанализировав ведущие геохимические ассоциации и уровень накопления элементов, дается заключение о ведущем рудоконцентрирующем процессе, формационном типе руд [33].

Анализ положения месторождений типа несогласия относительно аэрогеофизических полей свидетельствует о том, что перспективные рудоносные структуры обладают такими характерными признаками, как расположение в области дифференцированного магнитного поля, приуроченность к краевым частям областей высоких горизонтальных градиентов гравитационного поля и границе полей низкой гамма-активности [18].

4 Выделение перспективных участков для выявления уранового оруденения типа «несогласия» в районе Анабарского массива по данным аэрогеофизических исследований

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и
ресурсосбережение

6 Социальная ответственность

В данном разделе проводится изучение производственной безопасности, анализ выявленных вредных и опасных факторов при выполнении аэрогеофизических работ в рамках объекта «Оценка перспектив выявления промышленных урановых месторождений с богатыми комплексными рудами в западной части Анабарского щита на основе прогнозно-поисковых работ масштаба 1:200 000-1:25 000» [39]. Проводится исследование экологической безопасности, анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу. Рассматривается безопасность в чрезвычайных ситуациях: - виды ЧС на воздушном судне; действия и меры по ликвидации пожара и его последствий. Изучаются правовые и организационные мероприятия по обеспечению безопасности в полевой экспедиции, при полете на воздушном судне.

6.1 Производственная безопасность

В качестве носителя аэрогеофизической аппаратуры использовался самолет Ан-3Т авиакомпании «Заполярье» (г. Норильск). Аэропортом базирования является а/п Хатанга [39].

В зависимости от вида деятельности и конкретных полетных условий на организм членов экипажей воздушных судов оказывает отрицательное влияние целый комплекс вредных и опасных факторов, повышенная напряженность и особый характер летного труда (табл. 16). Члены летных экипажей воздушных судов гражданской авиации (ВС ГА), относятся к 4-ой категории, то есть к категории работников с тяжелыми условиями труда [54].

К вредным факторам труда членов экипажей воздушных судов гражданской авиации, вызывающим отрицательные изменения, влияющим на профессиональное здоровье, профессиональную работоспособность, безопасность полетов, следует отнести: высокие уровни авиационных шумов;

повышенные уровни общей вибрации; температурный дискомфорт в кабинах; повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; повышенное радиационное (фоновое) облучение [54].

Таблица 16 – Опасные и вредные факторы при выполнении аэросъемочных работ

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Аэросъемка и полет на самолете в качестве борт-оператора (взлет, приземление)	1. Превышение уровней шума 2. Повышенный уровень вибрации 3. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны 4. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны 5. Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне	1. Возникновение аварийных или катастрофических ситуаций, связанных с движением ВС на земле и в полете, возможность столкновения с земной поверхностью или препятствиями на земле и в полете 2. Психологическая перегрузка, утомление	1. ГОСТ 12.1.003-83, ГОСТ 20296-81 2. ГОСТ 23718-2014 3. ГОСТ 20762-75 4. ГОСТ 12.1.005.88, ГН 2.2.5.1313-03. 5. СанПиН 2.5.1.2423-08, МУ 2.6.1.1193-03, НРБ-99

Воздействие авиационных шумов. Основным источником авиационного шума — это воздушные и газовые возмущения от двигателей и винтов и турбулентность пограничного с ВС слоя воздуха. Шум, издаваемый двигателем, представляет собой беспорядочные колебания воздуха, состоящие из ряда простых звуковых колебаний различной интенсивности и частоты. Также движущееся в воздухе ВС меняет давление воздуха в непосредственной близости, причем при очень большой скорости движения создаются сложные изменения давления.

Согласно ГОСТ 20296-81 уровни звукового давления на крейсерских режимах полета не должны превышать значений, предельного спектра 80 (ПС-80). Уровни звукового давления в октавных полосах частот, соответствующие этому предельному спектру, приведены в табл. 17.

Таблица 17 Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот

Номер предельного спектра	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								
	31,6	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления, дБ								
ПС-80	110	99	92	87	83	80	78	76	74

Следует отметить, что надежных средств защиты от воздействия авиационного шума не существует, а необходимость вести постоянный радиообмен лишь усиливает это воздействие на организм членов экипажей. Систематическое воздействие авиационного шума на организм членов экипажей, превышающего допустимый уровень в 1,3 - 1,7 раза, приводит к развитию профессионального заболевания слуха - кохлеарного неврита. Кроме того, воздействие авиационного шума на организм вызывает головную боль, нарушение сна, повышение артериального давления и другие отрицательные проявления, которые расцениваются как неврастенические, астенические и вегетативные дисфункции, существенно влияющие на профессиональную работоспособность в полете [54].

Средства и методы коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029: звукоизолирующие кожухи; звукоизолирующие кабины; акустические экраны, выгородки.

Средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051-87: противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи; противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему.

Воздействие вибрации. Источник вибрации в самолете является флаттер – сочетание самовозбуждающихся незатухающих изгибающих и крутящих автоколебаний элементов конструкции летательного аппарата – главным образом крыла самолёта либо несущего винта вертолётa. Причиной флаттера обычно является несовпадение центра жёсткости с центром давления и недостаточная жёсткость конструкции крыла.

Вибрация вызывает снижение зрения, точности управляющих движений, качества переработки оперативной информации, показателей внимания и других психофизиологических функций. Вибрация ухудшает пространственную ориентировку, затрудняет речь, способствует развитию утомления и переутомления, тем самым непосредственно влияет на профессиональную работоспособность членов экипажей ВС ГА.

Наибольшему влиянию вибрации подвергаются члены экипажей легкомоторной авиации и вертолетов, у которых при стаже летной работы в 10 лет и более возникали парестезии в руках и ногах. Трофические изменения кожи стоп и голеностопных суставов, вспыльчивость и раздражительность, нарушение сна, головная боль, головокружение [54].

Согласно ГОСТ 23718-2014 допустимые среднеквадратические значения виброускорения и их логарифмические уровни в третьоктавных полосах частот должны соответствовать значениям, указанным в таблице 18.

Таблица 18 – Допустимые среднеквадратические значения виброускорения и их логарифмические уровни в третьоктавных полосах частот в кабинах экипажа самолетов (V группа норм)

Средне-геометрическое значение частоты треть-октавной полосы, Гц	Граничная частота третьоктавной полосы, Гц		Допустимое виброускорение			
			Вертикальная вибрация		Горизонтальная вибрация	
	Нижняя	Верхняя	Средне-квадратическое значение, м·с	Логарифмический уровень средне-квадратического значения, дБ	Средне-квадратическое значение, м·с	Логарифмический уровень среднего квадратического значения, дБ
1	2	3	4	5	6	7
1,60	1,4	1,8	0,50	114	0,22	107
2,00	1,8	2,2	0,45	113	0,22	107
2,50	2,2	2,8	0,40	112	0,28	109

Продолжение таблицы 18

1	2	3	4	5	6	7
3,15	2,8	3,5	0,35	111	0,35	111
4,00	3,5	4,5	0,32	110	0,32	110
5,00	4,5	5,6	0,32	110	0,32	110
6,30	5,6	7,1	0,32	110	0,32	110
8,00	7,1	9,0	0,32	110	0,32	110
10,00	9,0	11,2	0,40	112	0,40	112
12,50	11,2	14,0	0,50	114	0,50	114
16,00	14,0	18,0	0,63	116	0,63	116
20,00	18,0	22,4	0,79	118	0,79	118
25,00	22,4	28,0	1,00	120	1,00	120
31,50	28,0	35,5	1,26	122	1,26	122
40,00	35,5	45,0	1,60	124	1,60	124
50,00	45,0	56,0	2,00	126	2,00	126
63,00	56,0	71,0	2,50	128	2,50	128
80,00	71,0	90,0	3,20	130	3,20	130
100,00	90,0	112,0	4,00	132	4,00	132
125,00	112,0	140,0	5,00	134	5,00	134
160,00	140,0	180,0	6,30	136	6,30	136

К средствам защиты от повышенного уровня вибрации по ГОСТ 12.4.011-89 относятся устройства: виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие кожухи и кабины; автоматического контроля и сигнализации.

Воздействие температурного дискомфорта. Отрицательно влияет на организм членов экипажей ВС температурный дискомфорт в виде низких температур в кабинах в зимнее время, особенно при работах в северных районах, и работах в условиях высоких температур (+40-45° С). Кроме того, имеет место значительная разница температур в различных зонах кабины экипажа. Например, при выполнении длительных полетов (8 - 10 часов и более), температура воздуха в рабочей зоне экипажа может колебаться от +10 до - 11° по борту, от +25 до - 28° в центре кабины. Превышение ПДУ отмечается в 2 - 4 раза [54].

По ГОСТ 20762-75 система кондиционирования воздуха в полете и на земле при работающем двигателе должна обеспечивать установившийся температурный режим в кабине экипажа от плюс 15 до плюс 27 °С при температуре атмосферного воздуха от минус 30 до плюс 35 °С.

Согласно ГОСТ 12.4.011-89 к средствам защиты от повышенных или пониженных температур воздуха и температурных перепадов относятся устройства: защитные и оградительные; автоматического контроля и сигнализации; термоизолирующие; для радиационного обогрева и охлаждения.

Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны. Источниками вредных химических веществ и пыли в воздухе кабин воздушных судов являются горюче-смазочные материалы, гидравлические и другие специальные жидкости, лакокрасочные покрытия, синтетические материалы элементов интерьера кабин, забортный воздух, воздух выхлопной системы.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), указанных в ГОСТ 12.1.005.88 Приложение 2.

По ГОСТ 12.1.005.88 оптимальные показатели относительной влажности в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям 40-60%.

В полетах длительностью более 3 - 4 часов вредное влияние на организм членов экипажей ВС оказывает сухость воздуха. Уровень относительной влажности воздуха в кабине через 2,5 - 3 часа полета снижается до 5 - 10%. Анализ результатов исследований химического состава вдыхаемого членами экипажей ВС воздуха кабин дает возможность установить присутствие вредных химических веществ разного класса опасности. Установлено, что превышение ПДК составляет по озону в 5 раз, акролеину - в 3 раза, аэрозолю смазочных масел - в 6 раз, по формальдегиду, фенолу, окисям азота превышение ПДК - эпизодически. Суммарная загрязненность воздуха кабин во многих полетах превышает ПДК в 5 раз (ГОСТ 12.1.005.88). В воздухе кабин дополнительно обнаружены толуол, эпихлоргидрин, сернистый ангидрид, ацетальдегид, ацетон, пропионовый альдегид [54].

Согласно ГОСТ 12.4.011-89 к средствам нормализации воздушной среды относятся устройства: вентиляции и очистки воздуха; кондиционирования воздуха; локализации вредных факторов; автоматического контроля и

сигнализации; дезодорации воздуха. По ГОСТ 20762-75 система кондиционирования должна иметь устройства для очистки воздуха от вредных веществ.

Воздействие радиационного (фоновое) облучения. Основным источником радиации, воздействующим на экипаж, является солнце и солнечные лучи. Дополнительно экипаж ВС находится под постоянным воздействием СВЧ-излучений, источниками которых являются наземные радиолокационные системы служб управления воздушным движением и бортовые блоки радионавигационных и радиолокационных систем ВС [3].

Согласно СанПиН 2.5.1.2423-08 эффективная доза космического облучения экипажей воздушных судов гражданской авиации в полетах не должна превышать 5 мЗв в год [55].

По ГОСТ 12.4.120-83 и ГОСТ 12.4.011-89 к средствам защиты от повышенного уровня ионизирующих излучений относятся: оградительные устройства; предупредительные устройства; герметизирующие устройства; защитные покрытия; устройства улавливания и очистки воздуха и жидкостей; средства дезактивации; устройства автоматического контроля.

Уменьшение воздействия вредных условий труда членов экипажей воздушных судов возможно только путем сокращения времени пребывания в условиях полета, а также снижения высот полета до значений менее 10000 метров. С этой целью необходимо сокращение продолжительности летного времени в течение рабочего дня, рабочей недели и соответственно, сокращение нормы летного времени за месяц и год, введение обязательных реабилитационных мероприятий, увеличенной продолжительности времени отдыха между выполнением полетов, обязательного ежегодного санаторно-курортного лечения, увеличенной продолжительности ежегодного отпуска [54].

Опасные факторы труда членов экипажей воздушных судов ГА. Опасные факторы труда членов экипажей ВС ГА обусловлены работой в необычной, несвойственной человеку среде, принципиально отличающейся от среды, в которой проходит работа специалистов других профессий.

Работа членов экипажей ВС связана с эксплуатацией аппаратов тяжелее воздуха, которые являются источниками не только повышенной, но и постоянной опасности, при этом средств индивидуального спасения в случае возникновения аварийной и особенно катастрофической ситуации члены экипажей ВС ГА не имеют.

К опасным факторам относятся возникновения аварийных или катастрофических ситуаций, связанных с движением ВС на земле и в полете, возможность столкновения с земной поверхностью или препятствиями на земле и в полете по различным причинам: ошибок собственных или ошибок диспетчеров УВД; отказов авиационной техники; воздушного пиратства; возникновения пожара; разгерметизации кабины; разрушения конструкции ВС; поражения ВС грозовыми разрядами.

При этом вероятность сохранения жизни членов экипажа ВС крайне низкая. Чувство постоянной опасности сознательно и подсознательно отражается на членах экипажа ВС в течение всего полета, вызывая психофизиологическую перегрузку, утомление и переутомление.

Летный труд характеризуется особым характером труда, который определяется высокой вероятностью появления в полете особого состояния психической дезинтеграции анализаторных систем, инстинктов, сознательной и подсознательной сфер в виде пространственной дезориентации по отношению к гравитационной вертикали, обмана чувств. Подобные состояния, хотя и являются физиологической реакцией на подмену силы тяжести вектором перегрузки, на необычные угловые скорости наблюдаемых объектов, на деформацию констант восприятия в бесконечности в полете, вызывают сверхмощное психическое напряжение [54].

Для уменьшения риска возникновения пожара в каждом летном отряде должны быть выделены лица, ответственные за противопожарную безопасность. Выполнение комплекса противопожарных мероприятий должно производиться в соответствии с «Инструкцией по соблюдению мер пожарной

безопасности», как и проведение инструктажей, назначение лиц, ответственных за противопожарную безопасность [39].

6.2 Экологическая безопасность

При реализации проекта и производстве прогнозно-поисковых работ происходили воздействия на атмосферный воздух, гидросферу, земельные ресурсы и почвенно-растительный покров.

В проекте выбросы загрязняющих веществ в атмосферу происходили при ведении аэросъемочных, горных и транспортных работ. Расчеты выделений загрязняющих веществ для двух вездеходов ГАЗ-71 были произведены по «Методике определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнений атмосферы городов» (НИИ Охраны атмосферного воздуха, Санкт-Петербург, 1999). Для двух бульдозеров Т-130 - по «Методике проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ для баз дорожной техники расчетным способом с изменениями и дополнениями» (Москва, 1998 год) и «Методическому пособию по расчету, нормированию и контролю выбросов в атмосферный воздух» (Санкт-Петербург, 2002) (табл. 19, 20) [39].

При выполнении полета и взлетно-посадочного цикла ВС около 80% от объема загрязняющих веществ выбрасывается на этапе запуска и прогрева двигателей, руления самолета, ожидания взлета. При осуществлении взлетно-посадочного цикла вклад этапа руления самолета в общий уровень загрязнения составляет около 50%, при этом более 90% суммарной массы выброса загрязняющих веществ составляют продукты неполного сгорания. Основные продукты сгорания топлива — диоксид и оксид углерода. В результате окисления примесей, содержащихся в топливе, образуются также оксиды серы и азота.

Оптимизация режимов и схем выполнения руления ВС в зоне аэропорта, включая прогрев двигателей и запуск двигателей, а также применение

буксировщика для транспортировки самолета, позволяет существенно уменьшить загрязнение атмосферного воздуха в окрестности аэропорта [56].

Таблица 19 – Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в результате работы вездеходов ГАЗ-71

№ п/п	Наименование вещества	Код вещества	Класс опасности	Выброс, т
1.1	Азот (IV) оксид NO ₂	301	II	0,00031
1.2	Азот (II) оксид NO	304	III	0,00182
1.3	Диоксид серы SO ₂	330	III	0,00021
1.4	Углерода оксид CO	337	IV	0,00801
1.5	Углеводороды CH	401	IV	0,00086
1.6	Формальдегид	1325	II	0,00004
2.1	Углерод черный (сажа)	328	III	0,00020

Таблица 20 – Объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в результате работы бульдозеров Т-130

№ п/п	Наименование вещества	Код вещества	Класс опасности	Выброс, т
1.1	Азот (IV) оксид NO ₂	301	II	0,033
1.2	Азот (II) оксид NO	304	III	0,005
1.3	Диоксид серы SO ₂	330	III	0,003
1.4	Углерода оксид CO	337	IV	0,029
1.5	Углеводороды CH	401	IV	0,008
2.1	Углерод черный (сажа)	328	III	0,005

Воздействие на гидросферу выражается:

- в заборе воды на хозяйственные и производственные нужды;
- в сбросе хозяйственно-бытовых сточных вод в местные водотоки.

Объем потребления воды полевыми отрядами из природных источников составит–148,8 м³. Расчет общего потребления воды: норма потребления воды на одного человека – 125 л/сут (СНИП 2,04,02-84), но по опыту организации полевых лагерей норма потребления воды на одного человека определяется 40 л/сутки. Состав полевых отрядов – 10 человек (геологи, техники-геологи, рабочий-радиометрист, бульдозерист, горный рабочий). Общая

продолжительность полевых сезонов - 372 дня. $40 \text{ л} \times 10 \text{ чел} \times 372 \text{ дня} / 1000 = 148,8 \text{ м}^3$.

Учитывая состав сбрасываемых вод и их незначительный объем, можно сказать, что данный сброс не может существенно повлиять на состав вод рек.

Под воздействием на земельные ресурсы и почвенно-растительный покров подразумевается проходка и засыпка канав, перегон гусеничной техники на участки детальных работ и обустройство полевых лагерей с постройкой временных сооружений (палатки, туалеты, выгребные ямы, радиомачты, вертолетные площадки).

Проектом предусмотрено строительство помойных выгребных ям на каждом полевом лагере, куда будут складированы и захоронены все образующиеся отходы.

Годовая норма образования отходов для полевого лагеря берется 300 кг/чел (0,82 кг/чел в сутки), (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03). Общая продолжительность полевых сезонов – 372 дня, количество человек в полевых лагерях – 10. $0,82 \text{ кг/чел} \times 372 \times 10 = 3050,4 \text{ кг}$.

В проект включены работы, которые повлекут за собой нарушение почвенно-растительного слоя. Общий объем ущерба составит - 4,18 га. В расчет включены горные работы, строительство 24 полевых лагерей, 8 вертолетных площадок и перегоны гусеничной техники.

Проектом предусмотрены мероприятия по ликвидации нарушений – засыпка горных выработок, рекультивация вертолетных площадок и площадок полевых лагерей, ликвидация и засыпка выгребных и помойных ям. Движение гусеничного транспорта на участки детальных работ будет производиться в зимнее время, а пути переброски полевых лагерей будут планироваться в пределах русел и каменистых пойм рек с минимальным ущербом для растительного покрова тундры. Поэтому воздействие на территориальные и земельные ресурсы можно считать минимальным.

Площадь нарушений почвенно-растительного покрова. Площадь использования земли под горные выработки (канавы) составит – 0,91 га,

коэффициент ущерба – 100%. Площадь использования земли для одного полевого лагеря составит – 0,02 га, при этом коэффициент ущерба составит – 50%. $0,02 \text{ га} \times 24 \times 0,5 = 0,24 \text{ га}$.

Используемые коэффициенты ущерба выведены на основании опыта работ в полевых условиях и по результатам комиссионной приемки земель ПГО «Норильскгеология». Общая площадь нарушения растительного покрова составит: $0,91 \text{ га} + 0,24 \text{ га} + 0,22 \text{ га} + 2,81 \text{ га} = 4,18 \text{ га}$.

Нарушение среды обитания животных. На проектной площади животный мир крайне беден в видовом и количественном отношении. Пути миграции оленей проходят западнее проектных площадей. Непродолжительность полевых сезонов (в среднем 3-4 месяца в год), небольшие площади участков наземных заверочных работ ($1-2 \text{ км}^2$) позволяют говорить о незначительном нарушении среды обитания животных при реализации проекта [39].

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайными ситуациями на воздушном судне называются случаи частичного или полного разрушения воздушного судна. Они подразделяются на катастрофы, аварии и поломки.

Авиационной катастрофой называется авиационное происшествие, повлекшее за собой гибель одного или более человек, полное или частичное разрушение воздушного судна или его бесследное исчезновение. Авиационной аварией называется авиапроисшествие без человеческих жертв, но вызвавшее значительное повреждение воздушного судна. Авиационной поломкой называется ситуация, снижающая безопасность полета.

Действия членов экипажа в случае чрезвычайной ситуации должны соответствовать требованиям Руководства по летной эксплуатации самолетов (вертолетов) гражданской авиации ГОСТ 24867-81 [57].

При возникновении пожара в самолете на земле члены экипажа должны немедленно сообщить об этом службе УВД, одновременно начать эвакуацию пассажиров. При ликвидации пожара кроме бортовых средств необходимо дополнительно использовать наземные средства пожаротушения, имеющиеся на аэродроме. В полете при обнаружении дыма, гари или открытого пламени в пилотской или грузовой кабине, необходимо немедленно доложить об этом командиру ВС и приступить к поиску и тушению очага пожара с помощью ручных огнетушителей и других доступных средств. О пожаре необходимо сообщить диспетчеру УВД. При появлении дыма в кабине экипажа всем членам экипажа следует надеть дымозащитные средства (кислородные маски и дымозащитные очки). В случае возникновения пожара в каком-либо потребителе электрической энергии необходимо немедленно его обесточить [58].

Если пилотируемое воздушное судно терпит или потерпело бедствие, командир пилотируемого воздушного судна и другие члены экипажа пилотируемого воздушного судна обязаны принять все возможные меры по сохранению жизни и здоровья находящихся на борту пилотируемого воздушного судна людей, а также по обеспечению сохранности пилотируемого воздушного судна и находящегося на нем имущества [59].

6.4 Правовые и организационные мероприятия

Правовые мероприятия. Нормативно-правовой основой проекта и комплекса мероприятий являются Федеральные законы: «Об основах охраны труда в Российской Федерации», «Об охране окружающей среды», «Трудовой кодекс Российской Федерации», а также «Правила безопасности при геологоразведочных работах», «Правила пожарной безопасности при геологоразведочных работах», «Правила по охране труда на автомобильном транспорте», «Инструкция по технике безопасности для работников предприятий, использующих авиацию для перевозки служебных пассажиров

при транспортировке грузов на внешней подвеске и строительно-монтажных работах», «Наставление по производству полётов в гражданской авиации СССР», «Руководство по съёмочным полётам», «Порядок обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций», «Нормы бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты», «Положение об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях», «Инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на геологоразведочных работах», а также действующие нормативные и инструктивные документы по охране труда министерств и ведомств на соответствующие виды работ [39].

Согласно ст. 132 "Воздушного кодекса Российской Федерации" от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 06.07.2016) страхование жизни и здоровья членов экипажа пилотируемого воздушного судна при исполнении ими служебных обязанностей является обязательным. Страховая сумма на каждого члена экипажа воздушного судна составляет размер не менее одного миллиона рублей [59].

Оплата труда работников в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях осуществлялась с применением районных коэффициентов и процентных надбавок к заработной плате (северные надбавки), утверждаемых и регулируемых нормативными актами правительства РФ, Трудовым Кодексом и Законом РФ от 19.02.1993 N 4520-1 (ред. от 31.12.2014). Район работ расположен в северо-восточной части Хатангского района Таймырского Автономного округа Красноярского края. Районный коэффициент для этой территории на время полевых работ составлял 1,8 и процентная надбавка 1,3.

Выезд партий на полевые работы оформлялся «Актом готовности к выезду на полевые работы». К полевым работам допускались лица не моложе 18 лет. Все сотрудники, выезжающие на полевые работы, проходили медосмотр и курс вакцинации согласно эпидемиологической обстановке в районе работ. Все сотрудники, выезжающие на полевые работы, прошли проверку на знание

правил безопасного проведения работ. Начальники партий на время полевых работ были снабжены необходимыми литературой и инструктивными материалами и журналами регистрации производственной деятельности. Все сотрудники прошли вводный инструктаж и инструктаж на месте полевых работ. К техническому руководству геологоразведочными работами допускались лица, имеющие законченное горнотехническое образование по соответствующей специальности. Все маршруты регистрировались в журнале. В каждой маршрутной группе назначались старшие. На каждый маршрут устанавливались основной и контрольный сроки возвращения. Связь партий с базами и с институтом поддерживалась с помощью радиосвязи. Все партии снабжались аптечками и наставлениями по оказанию первой помощи, а все сотрудники индивидуальными пакетами. В каждом отряде были выделены санинструкторы, прошедшие курс обучения. В случае появления в партиях больных или пострадавших заказывались санрейсы для вывоза больного в ближайшую больницу. К работе на имеющемся технологическом оборудовании допускались лица, имеющие право работать на данном оборудовании. Перед началом полевых работ производственные группы прошли регистрацию в местных органах власти.

Партии, выезжающие на полевые работы, обеспечены средствами индивидуальной защиты, снаряжением, спецодеждой и спецобувью в соответствии с «Перечнем средств техники безопасности и охраны труда для геолого-съёмочных партий...» и «Нормами выдачи спецодежды, спецобуви и других средств индивидуальной защиты» [39].

Организационные мероприятия. В качестве носителя аэрогеофизической аппаратуры использовался самолет Ан-3Т авиакомпании «Заполярье» (г. Норильск). Аэропортом базирования является а/п Хатанга [39].

Организационные мероприятия проведения полетом на ВС регламентируются “Типовой инструкцией по охране труда для летного состава экипажа самолетов гражданской авиации” и “Руководством по лётной эксплуатации самолетов гражданской авиации”. Члены экипажа самолета

независимо от квалификации и стажа работы должны своевременно и в полном объеме пройти все виды инструктажа по охране труда (вводный, первичный на рабочем месте, повторный). Лица, не прошедшие инструктаж, к работе не допускаются [57].

Для контроля состояния здоровья экипаж самолета должен ежегодно проходить медицинское освидетельствование во врачебно-лётной экспертной комиссии. Члены экипажа самолета, не прошедшие периодический медицинский осмотр и годовое освидетельствование, к лётной работе не допускаются. Члены экипажа при необходимости должны пользоваться спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с действующими Нормами.

Члены экипажа должны соблюдать установленный для них режим рабочего времени и времени отдыха: нормы полетного времени, предполетного и послеполетного отдыха, правила поведения во время нахождения на дежурстве, в резерве и т. д. Для предупреждения возможности возникновения пожаров и взрывов члены экипажа должны сами соблюдать требования пожаро- и взрывобезопасности и не допускать нарушений со стороны пассажиров (не курить на месте стоянки ВС, не пользоваться открытым огнем).

Экипажу ВС необходимо провести предполетный осмотр воздушного судна согласно Руководству по лётной эксплуатации. Члены экипажа при вырубивании на старт, наборе высоты и снижении, находясь на своих рабочих местах, должны быть пристегнуты к сидениям кресел привязными ремнями. При рулении члены экипажа обязаны следить за окружающей обстановкой и предупреждать командира ВС о препятствиях.

Основным условием обеспечения безопасности членов экипажа в процессе выполнения полетного задания является точное соблюдение ими требований “Наставлений по производству полетов” и “Руководства по лётной эксплуатации”.

После заруливания на стоянку покидать рабочие места можно только после полной остановки двигателей, обесточивания самолета и с разрешения

командира ВС. При выходе из самолета необходимо быть внимательным и осторожным, так как после полета организм утомлен после неблагоприятного воздействия таких производственных факторов, как шум, вибрация [57, 58].

Самолет Ан-3 в аэросъемочном варианте предназначен для выполнения аэросъемочных работ в крупных масштабах. Экипаж самолета Ан-3 в аэросъемочном варианте состоит из пяти человек: командира ВС, второго пилота, штурмана-аэросъемщика, бортоператора.

Установка аэрофотосъемочной аппаратуры на воздушные суда производится согласно “Основным условиям установки и эксплуатации нетабельной и съемной специальной аппаратуры на самолеты и вертолеты ГА”. В зависимости от варианта оборудования самолета рабочее место штурмана-аэросъемщика может быть размещено: в кабине экипажа на месте второго пилота; в общей кабине у блистера, установленного на месте первого иллюминатора по левому борту; в общей кабине у блистера, установленного по правому борту. Рабочее место бортоператора оборудовано за основным люком.

Основные обязанности членов экипажа при выполнении аэросъемочных работ регламентируются Руководством по аэрофотосъемочным работам от 30 июня 1986 г. N 45/И [60].

Во время взлета и посадки членам экипажа запрещается: покидать свои рабочие места без разрешения командира ВС; производить проверку аэрофотосъемочной аппаратуры, приборов и систем; обращаться к командиру ВС и другим членам экипажа по каким-либо вопросам, за исключением предупреждения об угрозе безопасности полета.

В процессе выполнения аэросъемки командир ВС обязан: контролировать работу специального пилотажно-навигационного оборудования; предупреждать штурмана-аэросъемщика о всех изменениях режима или программы полета; при заходе на очередной съемочный маршрут контролировать величину угла крена; периодически получать и анализировать данные о фактической погоде на соседних съемочных участках, а также на базовом и запасных аэродромах; при длительных полетах постоянно

контролировать остаток топлива; регулярно информировать наземные службы о ходе выполнения задания.

Штурман-аэросъемщик до полета к съемочному участку обязан: оценить метеорологические условия; сообщить бортоператору метеоусловия; определить наиболее рациональную последовательность проложения аэросъемочных маршрутов; подготовить картографический и справочный материал к выполнению задания; запросить бортоператора о готовности к съемке; доложить командиру ВС о готовности к выполнению задания и о предполагаемой последовательности выполнения съемки.

Второй пилот должен, кроме исполнения обязанностей, определенных НПП ГА и инструкцией по взаимодействию и технологии работы членов экипажа данного воздушного судна, по указанию командира ВС оказывать помощь штурману-аэросъемщику в выполнении навигационных расчетов и ведении полетной документации.

По завершении аэросъемочного полета командир ВС должен провести с экипажем разбор полета и оценить работу каждого члена экипажа в процессе выполнения задания. Все члены экипажа должны записать в журнал свои замечания по работе материальной части. Штурман-аэросъемщик должен составить донесение начальнику аэросъемочной партии о выполнении задания [60].

Заключение

Месторождения урана «типа несогласия» обладают высокой значимостью в балансе мировых запасов урана и перед Россией стоит необходимость расширения сырьевой базы атомной промышленности за счет обнаружения на ее территории таких крупных рудных объектов высокорентабельных урановых руд.

Отсутствие крупных промышленных месторождений данного типа на территории России и стран СНГ и собственного опыта многопланового изучения зарубежных объектов создает определенные трудности в применении метода геологических аналогий. Эти трудности усложнены разнообразием представлений об условиях формирования урановых месторождений типа «несогласия» и соответствующих представлений о роли и значении конкретных предпосылок и факторов рудообразования.

В ВКР изучены методы измерения радиоактивности, поведение ЕРЭ при различных геологических процессах, проанализирован зарубежный опыт прогнозирования и поисков урановых месторождений типа «несогласия», определен круг основных критериев их размещения и формирования, отмечены главные направления и комплекс рациональных методов прогнозирования и поисков месторождений данного типа на территории России.

Также проведенные в ВКР анализ аэрогеофизических исследований на площади работ в западной части Анабарского щита, а также выявление значимых зависимостей между рудоконтролирующими геолого-структурными и радиогеохимическими обстановками, элементами структуры физических полей и полей концентрации радиоэлементов позволили выделить перспективные участки уранового оруденения типа «несогласия» на территории западной части Анабарского массива.

Список публикаций студента

1. Леденгский Р.А. Использование методов гамма спектрометрии для выделения слабомагнитных алмазоносных кимберлитов / науч. рук. Л. П. Рихванов // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. С. 229–231.
2. Ledengskiy R. A. Use of gamma-ray spectrometry for identifying weakly magnetic diamondiferous kimberlites/ Ресурсоэффективным технологиям – энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов VII Всероссийской конференции / – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. С. 256–258.
3. Леденгский Р. А. Анализ проявленности месторождений типа «несогласия» в аэрогеофизических полях / науч. рук. Л. П. Рихванов // Материалы V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского. – Санкт-Петербург: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2017. С. 82–84.
4. Леденгский Р. А. Анализ проявленности урановых месторождений типа «несогласия» в аэрогеофизических полях / науч. рук. Л. П. Рихванов // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. С. 229–231.

Список использованных источников

1. Смыслов А. А. Уран и торий в земной коре / – Л, «Недра», 1974. – 231 с.
2. Печерин, В. Н. Определение радиоактивных свойств горных пород: метод. указания / – Ухта, УГТУ, 2014. – 43 с.
3. Титаева Н.А. Геохимия природных рядов распада и проблема радиоактивного равновесия / Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II международной конференции. – Томск, ТПУ, 2004. С. 664–667.
4. Хмелевской В.К. Геофизические методы исследований: учебное пособие / – Петропавловск-Камчатский, КГПУ, 2004. – 232 с.
5. Арбузов С.И. Геохимия радиоактивных элементов: учебное пособие / – Томск, ТПУ, 2011. – 304 с.
6. Леденгский Р.А. Использование методов гамма спектрометрии для выделения слабомагнитных алмазоносных кимберлитов / науч. рук. Л. П. Рихванов // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова. — Томск, ТПУ, 2016. С. 229–231.
7. Язиков Е.Г. Минералогия радиоактивных элементов: учебное пособие/ – Томск, 2010. – 178 с.
8. Вернадский В.И. Очерки геохимии / Изд-е 4-е (2-е русское). – М., Горгеонефтеиздат, 1934. – 380 с.
9. Сыромятников Н.Г. Радиоактивные элементы как геохимические индикаторы поро- и рудообразования / – М., «Атомиздат», 1976. – 232 с.
10. Шахнович Ю.Л. Радиоактивные элементы в зонах оловянной и золотой минерализации / – Методы рудной геофизики. – Л., 1989. С. 79–86.
11. Зайцев М.А. Особенности распределения радиоактивных элементов в вертикальном разрезе золото-серебряного оруденения / – НПО «Рудгеофизика». Л., 1986, – 7 с.

12. Лаубенбах А.И. Радиоактивные элементы в зонах метасоматоза и возможности их использования для целей поисков месторождений золота, вольфрама и олова гамма-спектрометрией / – ВНИИЯГТ. М., 1980. – 11 с.
13. Рихванов Л. П. Радиогеохимическая типизация рудно-магматических образований (на примере Алтае-Саянской складчатой области) / под ред. И. В. Кучеренко. – Новосибирск, Изд-во «СО РАН», 2002. – 536 с.
14. Коган Р. М. Основы гамма-спектрометрии природных сред / – М., «Атомиздат», 1976. – 366 с.
15. Колчина Л. Г. Методические указания по применению радиометрических методов при поисках и разведки руд нерадиоактивных элементов. Выпуск 2. Цветные металлы. / – М., «Недра», 1965. – 120 с.
16. Лазарев Ф.Д. Аэрогамма-спектрометрические исследования как метод изучения радиоактивности поверхности и его практическая реализация / Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы III международной конференции. – Томск, 2009. С. 306–311.
17. Гамма-спектрометрия при поисках и разведке нефти и твердых полезных ископаемых: сборник научных трудов / под ред. А. А. Старцева. – М., Изд-во ВНИИГеоинформсистем, 1987. – 111 с.
18. Леденгский Р. А. Анализ проявленности месторождений типа «несогласия» в аэрогеофизических полях / науч. рук. Л. П. Рихванов // Материалы V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского. – Санкт-Петербург, ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2017. С. 82–84.
19. Пакульнис Г.В. Месторождения урана типа «несогласия» района Атабаска (Канада) / Минеральное сырье. – М., 2005 . – №17. – 102 с
20. Голомолзин В.Е. Современные геофизические технологии при прогнозно-поисковых работах на уран / Разведка и охрана недр. – М., 2009. - №3. С. -46-54.
21. Прогнозирование и комплексное изучение рудных районов, перспективных на выявление урановых месторождений типа несогласия: методическое руководство / Всероссийский научно-исследовательский геологический

институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ), под ред. Г. В. Афанасьева. – М., Спб., Геокарт Геос, 2006. – 201 с.

22. Geology and Economic Minerals of Canada. Geological Survey of Canada / Department of Energy, Mines and Resources, Canada Economic Geology. – Report №1. 1965. – 838 p.

23. Alexander P. Mineralogy, fluid geochemistry, and paleoproterozoic basement-hosted unconformity-type uranium deposits in northern Saskatchewan, Canada / «Uranium geochemistry» International conference. – Nancy, 2003. P. 41–44.

24. Ayres D.E. Geology of the Midwest Uranium Deposit of Uranium Exploration in Athabasca Basin Saskatchewan, Canada / Edited by E.M.Cameron. Geological Survey of Canada, Paper 82-11. – 1983. P. 33–40.

25. Powel B. Geophysical Mapping of Gneiss Domes in the Carswell Structure and their Relationship to Uranium Mineralization / Edited by R.Laine. Geological association of Canada. Special Paper 29. – 1985.

26. Earle S.A.M. Regional lithogeochemistry of the eastern part of the Athabasca Basin uranium province, Saskatchewan, Canada / In uranium Resources and Geology of North America. – 1987.

27. Marlatt J. The discovery of the McArthur River Uranium deposit, Saskatchewan, Canada / IAEA. Technical Committee Meeting on New Developments in Uranium Exploration Resources, Production and Demand. – Vienna, 1991.

28. Curtis D.B. An interim report on Studies of uranium thorium and lead migration at Key Lake, Saskatchewan, Canada / Los Alamos Sci.Lab. La 8440-MS Informal Report UC-51. – 1980. – 19 p.

29. Fouques J.P. The Cigar Lake uranium deposit: discovery and general characteristics / «In Uranium deposits of Canada» Canadian Inst. of Mining and Metallurgy, Special Volume 33. – 1986. P. 218–229.

30. Needham R.S. Pine Creek Geosyncline In: «Recognition of uranium provinces» / – Vienna, IAEA, 1988. P. 235–261.

31. Ferguson J. Uranium in the Pine Creek Geosyncline / – Vienna, 1980. – 760 p.

32. Голомолзин В.Е. Физико-геологическая модель месторождений типа «несогласия» - основа технологии поисков богатых комплексных урановых месторождений / Российский геофизический журнал, №3. – Спб., 1994. С.8–16.
33. Голомолзин В.Е. Пути повышения эффективности поисков слабо проявленных эндогенных месторождений урана на основе моделирования и выбора эффективного комплекса геофизических и геохимических методов / ФГУНПП «Геологоразведка». – Спб., – 13 с.
34. Шумилин М. В. Новые данные о месторождениях урана типа «несогласия» в Канаде и их значение для поисков аналогов в России / Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – М, 2015. – № 4. С. 72–77.
35. Шумилин М.В. Урановые месторождения «несогласия». Перспективы открытия в России. Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – М., 2011. – №6. С. 70–75.
36. Молчанов А. В. Металлогения урана Алданского и Анабарского щитов / Автореф. диссертации на соискание ученой степени доктора г.-м. наук. – Спб., 2004. – 48 с.
37. Молчанов А.В. Перспективы промышленной ураноносности севера центральной Сибири // Региональная геология и металлогения. – Спб., 2007. – №32. С. 88–102.
38. Молчанов А.В. Перспективы выявления высокорентабельных урановых и комплексных месторождений «типа несогласия» на Анабарском щите. Руды и металлы. – М., 2006. – №6. С. 5–15.
39. Петров О.В., Фукс В.З. Проект на выполнение работ по объекту №1-104 «Оценка перспектив выявления промышленных урановых месторождений с богатыми комплексными рудами в западной части Анабарского щита на основе прогнозно-поисковых работ масштаба 1:200 000-1:25 000» / ФГУП «ВСЕГЕИ». – Спб., 2005.
40. Молчанов А.В., Онищенко А.Н. Отчет по геологическому заданию «Оценка перспектив выявления промышленных урановых месторождений с богатыми комплексными рудами в западной части Анабарского щита на основе

- прогнозно-поисковых работ масштаба 1:200 000-1:25 000» / ФГУП «ВСЕГЕИ». – Спб., 2007. – 157 с.
41. Вишневский А.Н. Строение земной коры Анабарского щита / – М., «Наука», 1986. – 198 с.
42. Андреев В.П. Архей Анабарского щита и проблемы ранней эволюции Земли / – М., «Наука», 1988. – 253 с.
43. Афанасов М.Н. Металлогеническое значение региональных поверхностей несогласия / Вестн. СПбГУ, Сер. 7. – Спб., 2005. – №4. С. 93–97.
44. Афанасьев Г.В. Урановые месторождения и провинции типа несогласия / Региональная геология и металлогения. – Спб., 2014. – №60. С. 52–59.
45. Афанасьев Г.В. Месторождения типа несогласия: предпосылки формирования, вероятные гомологи, критерии прогнозирования / Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. – М., 2001. С. 13–21.
46. Тарханов А.В. Прогнозирование потенциально рудных районов и месторождений «типа несогласия» / Региональная геология и металлогения. – Спб., 2003. – №18. С. 83–89.
47. Тишкин А.И. Урановые месторождения древних щитов / – Москва, «Недра», 1990. – 144 с.
48. Ахмет В.А. Инструкция по составлению проектов и смет на геологоразведочные работы / – М., «Роскомнедра», 1993. – 57 с.
49. Абрамичева Т. В. Экономика и организация геологоразведочных работ: метод. указания / – Ухта : УГТУ, 2014. – 118 с.
50. Сборник сметных норм на геологоразведочные работы / Роскомнедра. Комитет по геологии и использованию недр при Правительстве РФ. – М., «ВИЭМС», 1993.
51. Сборник норм основных расходов на геологоразведочные работы / Роскомнедра. Комитет Российской Федерации по геологии и использованию недр. – М., 1995.

52. Ибрагимова А. Х. Проблемы учета и анализ затрат при осуществлении геологоразведочных работ и пути их оптимизации / Международный бухгалтерский учет. – М., 2012. – № 22 С. 13–20.
53. Романюк В.Б. О капитализации затрат на проведение геолого-разведочных работ / Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – М., 2014. – № 5. С. 31–36.
54. Санитарно-гигиеническая характеристика вредности, опасности, напряженности, тяжести труда членов экипажей воздушных судов гражданской авиации России / Главный Государственный санитарный врач по объектам и территориям, обслуживаемым Федеральным управлением, Медбиоэкстрем, Федеральная авиационная служба РФ. – М., 1997
55. СанПиН 2.5.1.2423-08 Гигиенические требования к условиям труда и отдыха для летного состава гражданской авиации. – М, 2009.
56. Кулагин Ю.Н. Методика контроля и рекомендации по снижению эмиссии двигателей воздушных судов в эксплуатации / Госкомприроды СССР-МГА. – М., 1988. – 89с.
57. ГОСТ 24867-81. Руководство по летной эксплуатации самолетов (вертолетов) гражданской авиации. – М., 1989.
58. Майоров А.Г Руководство по лётной эксплуатации самолета Ан 2 / «Воздушный транспорт». – М., 1984.
59. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997, № 60-ФЗ (ред. от 06.07.2016). – М., 1997.
60. Руководство по аэрофотосъемочным работам / Утверждено заместителем Министра гражданской авиации 30 июня 1986 г. № 45/И. – М., 1988.
61. Ledengskiy R.A. Rihvanov L.P. Use of gamma-ray spectrometry for identifying weakly magnetic diamondiferous kimberlites / Resource-efficient technologies - energy and enthusiasm of young people: Collection of proceedings of the VII All-Russian Conference. – Tomsk, TPU, 2016. – 287 p.
62. Цыганов В.А. Классификация и исследование отказов магнитометрического метода поисков кимберлитов // Москва: ФГУП Аэрогеология. – 25 с.

63. Контарович Р.С. Аэрогеофизика на пороге XXI века // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. –1997. – Отд. вып. – С.3–5.
64. Контарович Р. С. Проблемы и перспективы развития геофизических технологий при поисках коренных месторождений алмазов / Геофизика. – М., ЕАГО, 2001. – 9 с.
65. Яковлев Е.Ю., Киселев Т.П., Дружинин С.В. Особенности распределения радиоактивных элементов в породах кимберлитовой трубки Архангельская (месторождение им. М.В.Ломоносова) // V Российская молодёжная научно-практическая Школа с международным участием “Новое в познании процессов рудообразования”. – Москва, 2015. – С. 289–291.
66. Пряхина Е.В. Распространенность и распределение радиоактивных элементов и изотопов урана в кимберлитах Д. – А. района / Автореферат. канд. г.-м. наук. – М., 1983. – 25 с.

Приложение А

Radioactive elements as indicator of rock and ore formation

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ЛМ5А	Леденгский Роман Андреевич		

Консультант кафедры

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Л.П. Рихванов	д.г.-м.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯПР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	И. А. Матвеевко	д-р филол. наук		

Abstract

Master's thesis consists of 138 pages, 21 figures, 21 tables, 66 references, 1 application.

The object of dissertation is a set of aero geophysical maps of the exploration area in the western part of the Anabar shield: maps of contents of U, Th, K 1:200 000 scale; maps of above-ground contents of U, Th, K 1:200 000 scale; maps of Th/U, U/K ratio 1:200 000 scale; map of exposure dose rate 1:200 000 scale; composite radio-geochemical map scale 1:200 000; contour map (ΔT) 1:200 000 scale; map of anomalous magnetic field 1:200 000 scale; map of the vertical gradient of the gravity field scale 1:200 000.

The subject of the dissertation is occurrence of uranium deposits of the "unconformity-type" in the aero geophysical fields.

The purpose of the dissertation is to allocate prospective areas for the indentifying uranium mineralization of the «unconformity-type» in the area of the Anabar shield according to aero geophysical studies.

The dissertation has been done using modern computer programs: ArcGIS, Oasis Montaj Viewer, AutoCAD, Corel Draw, Surfer, and Microsoft Office.

The relevance of research is the acute shortage and depletion of the Russian uranium resource base. The problem can be solved by identifying large-scale highly profitable uranium deposits and involving them in industrial development in the western part of the Anabar Shield. The uranium deposits have rich complex ores reserves and their quality is comparable with deposits of the «unconformity-type» of the uranium ore provinces in Canadian Shield (Athabasca) or Northern Australia (Arnhem Land).

The main results and novelty. Complex analysis of occurrence of foreign deposits «unconformity-type» in aerogeophysical fields and interpretation of aerogeophysical studies in the western part of the Anabar shield allow to allocate prospective areas for the indentifying uranium mineralization of the «unconformity-type», which are recommended for a detailed geological exploration of 1:50 000-1:25

000 scale at this prospecting site, taking into account the experience of Canadian and Australian prediction and exploration.

The degree of implementation. The results of the research can be used for allocate prospective areas for the indentifying uranium mineralization of the «unconformity-type» according aerogeophysical study at stage of geological prediction works 1:200 000 scale.

Field of application. Uranium geology.

Keywords: Deposits of «unconformity-type», deposits at «calcium-magnesia metasomatite», Anabar shield, airborne survey, occurrence in the aero geophysical fields, gamma-spectrometric method, radioactive elements.

Table of contents

	Introduction.....	121
1	Radioactive elements as indicator of rock and ore formation.....	123
1.1	Sediments.....	123
1.2	Recent oceanic and marine sediments.....	125
1.3	Crusts of weathering.....	126
1.4	Metamorphic formations.....	127
1.5	Magmatic rocks.....	130
1.6	Radioactive elements in ore formation.....	130
1.7	Use of gamma-ray spectrometry to identify weakly magnetic diamondiferous kimberlites.....	134
	Conclusion.....	139

Introduction

For various reasons, in the early 21st century there was an acute shortage of natural uranium in Russia. In this regard, there is a strategic goal to reproduce Russian uranium resource base and improve the economic structure of its reserves, which would meet the needs of nuclear industry. The problem can be solved by identifying large-scale highly profitable uranium deposits and involving them in industrial development. The uranium deposits have rich complex ores reserves and their quality is comparable with deposits of the "unconformity-type" of the uranium ore provinces in Canadian Shield (Athabasca) or Northern Australia (Arnhem Land).

In 2005-2007 Norilsk branch of the FGBU "VSEGEI" carried out an complex airborne geophysical surveys of the 1:200 000 scale within the project "Assessment of prospects for the identifying of industrial uranium deposits with rich complex ores in the western part of the Anabar shield based on the 1:200 000-1:25 000-scale prediction and exploration work". The study area is located in the north-eastern part of Khatanga district of Taimyr Autonomous area of Krasnoyarsk region.

The dissertation deals with allocation of prospective areas to indentify uranium mineralization of the "unconformity-type" in the area of the Anabar shield according to aero geophysical studies. There is an in-depth metallogenic analysis of the material, which is obtained from the field exploration. This analysis will allow objectively allocating and detecting the most favorable areas for indentifying highly profitable uranium deposits with rich complex ores, as well as specific areas for large-scale and detailed prospecting and evaluation operations.

The purpose of the dissertation is to allocate prospective areas for the indentifying uranium mineralization of the "unconformity-type" in the area of the Anabar shield according to aero geophysical studies.

The object of dissertation is a set of aero geophysical maps of the exploration area in the western part of the Anabar shield: maps of contents of U, Th, K 1:200 000 scale; maps of above-ground contents of U, Th, K 1:200 000 scale; maps of Th/U, U/K ratio 1:200 000 scale; map of exposure dose rate 1:200 000 scale; composite

radio-geochemical map scale 1:200 000; contour map (ΔT) 1:200 000 scale; map of anomalous magnetic field 1:200 000 scale; map of the vertical gradient of the gravity field scale 1:200 000.

The subject of the dissertation is occurrence of uranium deposits of the "unconformity-type" in the aero geophysical fields.

The practical significance of the dissertation consists in indentifying the most favorable areas to allocate uranium mineralization of the "unconformity-type" in the western part of the Anabar shield and recommendations for a detailed geological exploration of 1:50 000-1:25 000 scale at this prospecting site, taking into account the experience of Canadian and Australian prediction and exploration.

1 Radioactive elements as indicator of rock and ore formation

The radioactivity of rocks and ores is higher than the concentration of natural radioactive elements of the uranium, thorium, and potassium-40 series.

It is typical for magmatic, hydrothermal-metasomatic and metamorphic rocks to own mineral occurrence of radionuclides, a form of isomorphic occurrence in non-uranium minerals and the scattered atomic and molecular form. Aqueous solutions are of the ionic and colloidal forms in different ratios. Sedimentary rocks have forms which are both of endogenous formations and widely distributed sorption and organo-mineral occurrence forms [1].

1.1 Sediments

Sedimentary rocks are important for the geochemical balance of radioactive elements, especially uranium, most of which are closely connected with sandy- pelitic and other sediments in the near-surface zone of the Earth crust.

Sediments have a wide range of uranium and thorium content and a number of geochemically specialized (enriched with radioactive elements) rock complexes. The natural appearance of these complexes in the history of the geological evolution of mobile belts and the continental plateau indicates the epochs of syngenetic accumulation of uranium and thorium. The deposition of sediments primarily enriched with uranium (carbon-siliceous shale, bituminous limestone, caustobiolith) is closely connected with the distribution and accumulation of the organic material (Corg) in the lithogenesis zone. Sedimentary rocks with a normal Corg content (<0.3-0.5%) are divided into five groups in terms of their radioactive properties. There are terrigenous, siliceous, carbonate, saliferous sediments, and caustobioliths.

Terrigenous sediments (conglomerates, sandstones, shales) have the highest primary content of uranium and thorium (close to clarke). Terrigenous sediments, which are formed in different geostructural zones of the Earth crust, have the relationship between the uranium content (and thorium) and the granulometric

composition of rocks. This relationship shows the graded increase in uranium content in the series: conglomerates-sandstones-siltstones-argillites. The direct relationship between the contents of uranium (thorium) and the amount of clay particles defines sediments as carriers of thorium and uranium sorbents. The ratio and content of uranium and thorium in argillites depend on their mineral composition. In particular, hydromicaceous argillites have the maximum content of thorium, and kaolinite argillites have the maximum content of uranium. Apparently, the major part of thorium, which is adsorbed by clay particles or iron hydroxides, is transferred to the sedimentation area [1].

Anhydrite and salt rock have the lowest radioactivity among the sediments, the uranium and thorium content being nearly no more than $1 \cdot 10^{-4}\%$. A small increase of their content in salt sediments (salt clays, halopelites) is associated with the occurrence of clay material. Radioactive elements (coals, peats, oil shale) are more complexly distributed in caustobioliths. Although there is the low content of radioactive elements in coals and peats, they often have high concentrations of uranium and radium. Caustobioliths have the high content of radioactive elements $U > (2 \div 4) \cdot 10^{-4}\%$. It is associated with superimposed processes of infiltration of underground and surface waters. Uranium is deposited by organic material from these waters during the reduction of hexadic uranium.

An example of thorium sediments are ancient quartz conglomerates, and recent and consolidated placers. They are enriched with some weathering-resistant accessory minerals of magmatic and metamorphic rocks (monazite, zircon, pyrochlore, and euxenite).

The uranium content in phosphorites and phosphate rocks varies widely (from 0.002 to 0.03%, sometimes higher). As usual, the uranium content increases with the increase in the amount of phosphorus. The content of thorium in phosphorites, as a rule, does not exceed $(5 \div 10) \cdot 10^{-4}\%$. Low content of thorium is a characteristic feature of sedimentary phosphorites and they differ markedly from apatite hydrothermal bodies in this aspect [1].

Many types of bauxite have high uranium and thorium contents. Accumulation of uranium in bauxites depends on the nature of the source rock and occurrence of uranium. Thorium is 2-4 times more than uranium in bauxite. The content of thorium in bauxite depends on the content of Al_2O_3 , and content of uranium as well as radium depends on the content of FeO [4].

Carbonaceous shales have the maximum content of uranium, sometimes are 0.02-0.03%, especially in essentially carbonaceous rocks. These rocks are enriched mostly with organic carbon. Carbonaceous shales have lower content of uranium (0.005-0.01%), and carbonaceous-siliceous ones have the minimum content (0.001%) [1].

1.2 Recent oceanic and marine sediments

The uranium content of recent oceanic and marine sediments varies widely (from $0,2 \cdot 10^{-4}\%$ to $100 \cdot 10^{-4}\%$ and higher). It indicates a high migration capacity of the element, which is connected with increased geochemical activity of biogenic factors. Higher concentrations of uranium in seas tend to depressions, in the oceans they tend to the shelf zone and the continental area [5].

Besides, there are bed sediments with increased radioactivity. The upper horizons of sediments from the zone of the Black and Baltic Seas have high content of uranium, up to $(10 \div 20) \cdot 10^{-4}\%$. This zone is contaminated with hydrogen sulphide. The enrichment of muddy sediments in this part of the basins is associated with the reduction of uranium. This uranium reduces to the tetravalent state from the form of a carbonate complex. It occurs in the near-bed zone (in the upper part of the muddy waters), where the potential E_h changes markedly, and a considerable part of the uranium is occluded by the organic material.

Uranium entering the ocean in a dissolved form is partially fixed in the shelf zone, and is occluded by an organic substance, hydroxides of iron and manganese, phosphates. Colloidal particles of iron and manganese hydroxides occlude hydrolysis or ionic forms of uranium. The anomalous concentrations of uranium are closely

associated with increased amounts of organic or phosphate material in all cases (in zones with hydrogen sulfide contamination and outside them).

In contrast to uranium, bed sediments of the oceans and seas have comparatively low and equal amounts of thorium (3-4 times lower than the clark). Reasons of thorium scarcity in recent sediments are low content of thorium and weak ability to migrate in the waters. Most of thorium is mechanically concentrated in coastal placers or siltstone clay sediments of coastal zones (monazite, zircon-ilmenite). Unique radio geochemical feature of recent sedimentation in the open parts of the seas and oceans is a low content of thorium and a lower thorium-uranium ratio. The occurrence of mechanical barrier for thorium in the coastal area causes its predominant accumulation in placers and in some clay sediments of delta area [1].

The high concentration of radioactive elements in bed sediments is determined by two processes. There are preferential leaching from suspended particles of source elements and co-precipitation of uranium and thorium into sediments with clay minerals, ferromanganese nodules. The role of the first factor is more significant, as Th^{4+} migrates weakly in aqueous solutions. Therefore, thorium dissolves weakly; it concentrates relatively in the bed sediments during the leaching of highly soluble elements [5].

1.3 Crusts of weathering

Each type of weathering crusts has a clearly vertical sequence. There is regular occurrence of three horizons: the lower one - disintegration; medium - hydromica-kaolinitic by granitoids, shales, and sandstones; upper – clayed (kaolinitic).

Weathering of rocks is followed by slight decrease of the uranium, radium and thorium content in the disintegration zone. The reasons for this are the increase of rock porosity and, as the consequence, uranium and radium removal during the process of mechanical and chemical transformation. The most characteristic feature

of this horizon is a significant change of the uranium occurrence. There is a sharp increase in the content of its highly soluble (mobile) form.

The medium hydromica-kaolinitic horizon has an increased content of uranium, radium, and much less thorium, as compared to the zone of disintegration. Usually, the medium horizon has more radioactive elements (especially uranium), in relation not only to other horizons, but also to the source rocks. This horizon is enriched with uranium and radium because clay material accumulate this elements. The main sorbents of uranium and thorium are minerals - montmorillonite, kaolinite, illite, hydroxides of iron, and manganese.

The upper horizon of the weathering crust there is a significant decrease in the content of uranium and radium and an increase in thorium content.

The lateritic crust has the high content of thorium up to $(50\div 70) \cdot 10^{-4}\%$ and it is sharply enriched with aluminum and iron hydroxides. In removal horizons there are accumulations of thorium by accessory minerals, which are resistant to destruction, and occlusion of thorium by clay particles.

A unique radio-geochemical feature of weathering products is uranium-radium series disequilibrium, that is, a removal toward an excess of radium. The equilibrium coefficient between uranium and radium (Ra/U) varies from 1 in the zone of disintegration to 1.7 - in the clay products of the kaolinitic horizon. Calculations of the balance of radioactive elements, with account of the density and porosity of rocks, indicate a significant general deficit of uranium and radium in the formations of the weathering crust.

1.4 Metamorphic formations

There are two formation groups of the content of uranium and thorium among the metamorphic rocks, which build up the area of the Precambrian folding, the middle massifs and the geoanticlines.

They are weak-radioactive (mafic silicate rocks: amphibolites, amphibolite shales, apodiabases, quartzites and carbonates: marbles, calciphyres) and rocks with

normal or slightly increased radioactivity (felic gneisses, crystalline shales, porphyroids, metamorphosed sandstones). The difference in the radioactive properties of these groups of rocks is well correlated with the difference in their primary chemical composition.

Felic metamorphic rocks, potassium- rich: in biotite feldspar gneisses and quartz-sericite shales of epidote-amphibolite and greenschist facies, have the highest contents of radioactive elements, but not more than $6 \cdot 10^{-4}\%$ of uranium and $((25 \div 30) \cdot 10^{-4}\%$ of thorium. Among the highly radioactive metamorphic rocks there are significant uranium-bearing ($\text{Th}/\text{U} < 2$) - carbonaceous or graphite-bearing shales, the high uranium content is associated with the processes of syngenetic accumulation, and thorium ($\text{Th}/\text{U} > 2$) - biotite-plagioclase orthogneisses and porphyroids. The radioactivity of the hornblende and biotite-hornblende gneisses and crystalline shales of the amphibolite facies is just lower.

The decrease in the contents of uranium and thorium occurs against a background of a lower intensity of potassium concentration decrease. The decrease in the radioactivity of felitic rocks is also closely linked with the loss of water and carbon dioxide in rocks during the dehydration of minerals and the occurrence of mineral parageneses with a high density of crystalline structures. Thus, the general radiogeochemical feature of products of progressive regional metamorphism is the decrease in radioactivity with an increase in the metamorphism intensity. And rocks of epidote-amphibolite and greenschist facies do not have significant increase in the content of uranium and thorium. Their radioactive level is not higher than for unmetamorphosed sedimentary rocks and volcanites. High-organic sediments are depleted by uranium metamorphism.

Radioactivity of felitic rocks also decreases during the process of progressive contact metamorphism in the zones of hornfelsing and skarnification. The loss of uranium by rocks is especially great against the background of the removal of carbon dioxide and water and the burning out of organic material during contact metamorphism of bituminous and carbonaceous sediments, which are primarily enriched with ore elements.

Mafic rocks (amphibolites, amphibole gneisses and shales, apodiabasic porphyrites) are formed from metamorphism of mainly volcanites of the basic composition. These rocks have low content of uranium and thorium and do not depend on the facies of metamorphism.

The quartzites and carbonate rocks (marls, marbled limestones and calciphyres) have low content of uranium and thorium. Exceptions are graphitic quartzites and bituminous marbled limestones.

In general, among metamorphic rocks there are products of regional dynamothermal and local metamorphism – they are only the formations metamorphosed under the conditions of amphibolite, epidote-amphibolite and greenschist facies differ in the content of uranium and thorium. Content of radioactive elements in products of higher grades of metamorphism (granulite facies) is practically equalized in all types of rocks.

The processes of ultrametamorphism and granitization cause a significant change in the radioactivity of rocks. The different facial zones of metamorphism usually have several grades of ultrametamorphism and granitization. It is associated with formation of migmatites and various metasomatic granites with regular decrease in basicity and the increasing alkalinity of rocks from the ancient to the recent ones.

Nonequilibrium mineral parageneses with a significant input of a number of components, in particular, potassium (as a result of the processes of silica-potassium metasomatism) are formed at the stage of granitization and migmatization of metamorphic rocks. At the same time, material and radioactive elements of the previous phases of ultrametamorphism are mobilized and the most acid granitoid varieties are selectively transferred to the liquid (melt). As a result of these processes, microclitic products are most enriched with potassium, uranium and thorium. The thorium-uranium ratio sharply increases in the calicined porphyroblastic gneisses, alaskite granites, and pegmatites in consequence of a large number of thorium-bearing accessories (thorite and monazite) [1].

1.5 Magmatic rocks

The most characteristic radio-geochemical feature of calc-alkaline igneous rocks is the gradual increase in the content of uranium and thorium in the series ultrabasic rocks → basic → mafics → acidic, in proportion to the increase in silica and potassium. Acid rocks (granites and liparites) have an increased content of uranium and thorium (over Clarke) and excess forms of elements among the magmatic formations of the calc-alkaline series.

Calc-alkaline volcanogenic rocks tend to increase in radioactivity with increasing acidity. This correlation is even more pronounced. It is associated with more stable content of uranium in volcanic rocks of the same composition.

Magmatic formations (intrusive and effusive) of increased alkalinity have a higher radioactivity in comparison with the allied acidity rocks of the calc-alkaline series. It is observed both in ultrabasic (alkaline rocks) and as in trachytes and trachylinarites. Sometimes, the high radioactivity of alkaline rocks is associated with the widely indicated postmagmatic processes (alkaline metasomatism).

Intensive redistribution of uranium and thorium during greisenization (leucocratic granites), alkaline metasomatism (nepheline syenites), and occurrence of postmagmatic local concentrations of uranium and thorium indicates the geochemical екyтв of intrusive and volcanogenic formations [1].

1.6 Radioactive elements in ore formation

Metamorphism, metasomatism and hydrothermal processes cause changes in an enclosing rock, accompanied by a transformation of the structure of radiochemical fields, which causes the formation of anomalous concentrations of natural radioactive elements. The reason for this phenomenon is the different migration properties of uranium, thorium and potassium. These changes disrupt the equilibrium ratio of natural radioactive elements, followed by the formation of radiogeochemical zonation, which is equivalent to a specific conversion type and that forms the

methodological basis of the gamma-ray spectrometry application in radiogeochemistry. Therefore, these zones are confidently reflected in the results of the calculation of relations or in the above-background concentrations of radioactive elements.

There is the correlation between the content of individual radioactive elements and the composition of valuable elements of the deposits. Thus, endogenous deposits, i.e. deposits of non-alkaline formation, have excess of uranium contents over thorium. Hydrothermal deposits and some types of pneumatolytic-hydrothermal deposits have Th/U ratio more 1. The deposits of the alkaline formation have a sharp excess of thorium over uranium ($\text{Th/U} \gg 1$) [6].

In most cases, the content of potassium and, especially, uranium and thorium in ore-bearing zones of non-radioactive minerals of hydrothermal genesis is near-Clarke or slightly higher. But, on the one hand, the rock-forming element - potassium, which is also an important component of hydrothermal processes, drastically changes its behaviour at various temperature stages of hydrothermal processes. On the other hand, a pair of radioactive dispersed elements, their details of motion (addition-removal) is also closely related to the physico-chemical conditions of the environment. Thus, tetravalent uranium and thorium are crystallochemically similar and, therefore, they have same migratory properties. These elements have similar behavior in the processes of magmatic differentiation, and also in high-temperature hydrothermal processes. Hexavalent uranium differs sharply from thorium in terms of migration, therefore, their difference is normal in medium-low-temperature hydrothermal conditions [10].

In fact, the thorium and potassium are similar in high-temperature hydrothermal and have opposite behavior for medium and low temperatures. Thus, the pairs of elements U/Th, Th/K, the features of their ratios can serve as indicators of specific stages of hydrothermal processes and their intensity. This is directly related to ore formation, since, on the whole, the ore is located in sites where the hydrothermal process occurred completely, it is often absent in the non-ore zones [13].

By the example of gold deposits the redistribution of radioactive elements during ore formation is described below. The activity of the potassium migration during mineral formation increases from the early to late stages of ore genesis: from pre-ore hydrothermal formations of epidote-chlorite composition to pre-ore quartz-sericite metasomatites and ore hydromica-adular metasomatites. The content of potassium increases even more sharply in the gold selvages, while the contents of thorium and uranium decrease. The adularization zone indicates the interval of sharp increase in the alkalinity of hydrothermal fluid. Also, there are high concentrations of potassium in the solid phase, the removal of thorium and the creation of favorable conditions for accumulation of uranium, as well as gold, silver and molybdenum [10].

The geochemical zonation of hydrothermal and other processes, the geochemical similarity in behavior of radioactive and ore elements, the correlation of the contents of radioactive elements, the thorium-uranium ratio and the content of ore components ensure high efficiency of the gamma spectrometry in the search for gold, silver, tin, molybdenum and tungsten, iron, polymetals, cobalt and nickel, phosphorus and diamondiferous kimberlites [6, 14, 15].

The gamma spectrometric method is also highly effective in the search for deposits of rare and rare-earth elements. These elements have increased radioactivity, which is associated with the close geochemical association of many rare elements, rare earths and zirconium with radioactive elements. This association is based on isomorphism and paragenesis of these elements. As such, ore minerals - hachettolite and pyrochlore are the main concentrators of uranium and thorium, so tantalum and niobium ore have clear geochemical zonation. Light REE contain thorium, and heavy ones contain uranium. Basically, rare-earth minerals have thorium, such as parisite, monazite and apatite. There is a correlation between REE and, thorium and uranium. This correlation has practical importance in geological studies of rare-earth element deposits [13, 14].

There are six groups of the main rock-forming and accessory minerals among the great variety of minerals in the earth's crust. They depend on the level of their radioactivity and the distribution of radioactive elements (Table A.1) [1].

Table A.1 – Classification of hypogene and hypergene minerals in terms of their radioactivity

Groups of minerals	Minerals	Level of content, weight %		Th/U	Clarke concentration		Radiogeochemical characteristics
		U	Th		U	Th	
The maximum radioactive (actually uranium and thorium minerals)	Hypogenous Uraninite, nasturan, thorianite and others	56-85	20-40	<0,01 (uranium) 40-80 (thorium)	>10000	>10000	Minerals of uranium and thorium ores, rarely accessory
	Hypergenic: Otenite, torburnite, schrekinerite	40-60	<0,01	<0,001	>10000	-	
Highly radioactive (rare accessory felsic rocks)	Cyrtolite, zircon, thorium ortite	400-2000 · 10 ⁻⁴	400-1000 · 10 ⁻⁴	<1	100-1000	10-100	Minerals-concentrators of uranium in magmatic rocks and placers
	Orthite, monazite	600-2000 · 10 ⁻⁴	10000-30000 · 10 ⁻⁴	>10	100-1000	100-1000	
Increased radioactive (the most common accessory)	Sphene, apatite, magnetite	10-100 · 10 ⁻⁴	30-200 · 10 ⁻⁴	2-5	5-30	2-15	Secondary minerals-carriers of uranium and thorium
Normally radioactive (secondary rock-forming minerals)	Biotite, hornblende	4-8 · 10 ⁻⁴	8-18 · 10 ⁻⁴	1,5-2,3	2-3	1-2	Minerals-carriers of uranium and thorium
Weakly radioactive (the main minerals of felsic rocks)	Quartz, potassium feldspar, acid plagioclase	1-3 · 10 ⁻⁴	2-8 · 10 ⁻⁴	1,8-4,5	0,5-1	0,2-0,5	The main minerals-carriers of uranium and thorium
Low-radioactive (minerals of femic rocks)	Pyroxenes, mafic Plagioclases	<0,1-1 · 10 ⁻⁴	<0,1-1 · 10 ⁻⁴	2-5	<0,2	<0,2	The main minerals-carriers of uranium and thorium

The behavior analysis of natural radioactive elements in various geological processes identified the following:

1. Areas with a high concentration of potassium may be:- bedrock exposure with primary high content in potassium; - deluvial cone; - sections of the valleys with high clay sediments; -plots of ground water discharge, which are erode the salt with a high content of potassium.

2. Areas with a high concentration of uranium and low Th/U ratio may be:- bedrock exposure with primary high content of uranium, in particular, coal beds, ancient bitumens or phosphates; - sections of the valleys with stagnant hydrodynamic condition; -plots of ground water discharge, which are erode the rocks with a high content of uranium;

3. Areas with a high concentration of thorium and high Th/U ratio may be:- bedrock exposure with primary high content of thorium; outlier of weathering; -plots with high soil sediments; - deluvial cone; -plots of accumulation of schlich and clay material in the river alluvium.

The distribution of radioactive elements in minerals, ores and rocks forms the basis for a comparative radio-geochemical assessment of the area and geochemical zoning of prospects. Radioactive elements are sensitive indicators of different processes, consequently, radiogeochemical studies can be used to solve various problems: the study in the direction and intensity of endogenous and exogenous geological processes, metallogenic zoning and prediction, and search for deposits of radioactive and non-radioactive ores.

1.7 Use of gamma-ray spectrometry to identify weakly magnetic diamondiferous kimberlites

Exploration of diamondiferous kimberlites is highly relevant, because they are the main source of industrial diamonds. Their share is 90% of the diamond reserves in bedrock deposits. More than 1500 kimberlite bodies are known today, 8–10% of which are diamondiferous rocks. Some kimberlite fields of Yakutian and Arkhangelsk diamondiferous provinces (Mirny, Nakyn, Zolotitsa) have minimum values of magnetization intensity. Use the magnetic method to explore weakly

magnetic diamondiferous kimberlite pipes and fields has displayed low efficiency [61, 62].

Gamma-ray spectrometry methods are based on measuring the spectral composition of the natural gamma radiation of the mantle rocks, followed by identifying of the contents of natural radioactive elements such as uranium, thorium, and potassium in these formations. This method is adopted in land, airborne and laboratory versions. Gamma-ray spectrometry belongs to geophysical methods in essence, methodology and observation techniques, but they also solve some geochemical problems. The field methods have shallow depth of investigation due to the rapid absorption of gamma rays by air and rocks. They are widely used in lithological, tectonic plotting, as well as in explorations of non-radioactive minerals that are paragenetically or spatially linked with the natural radioactive elements [16]. Identifying radioactive elements by gamma spectrometry in the field is distinguished by unique mobility, rapidity, high sensitivity and accuracy in solving radiogeochemical issue. This method allows the use of statistical approach in radiogeochemical research, regulation of the field acquisition, observation and evaluation of the dynamics of the radiogeochemical parameters of rocks, ores and minerals in their geological study, and reliable sampling to identify the three natural radioactive elements [13].

Airborne gamma-ray spectrometry allows determining the concentration of radiogeochemical elements in rocks and ores with the required precision. The results of airborne gamma-ray spectrometry show its high efficiency in solving geological problems such as geological mapping, prospecting hydrothermal deposits (uranium, rare earths, non-ferrous and precious metals), and the research of the intensity and nature of occurrences (manifestations) of superimposed processes. These results allow obtaining high-quality information that is comparable with the scale-adjusted (corresponding scale) foot-borne surveys. According to the estimates, aerial survey of similar problems is 2.5-10 times cheaper than work on land [63]. The high sensitivity of the method can be effectively used to detect Clarke content of natural radioactive elements in the upper layer of rocks. If there is even a slight differentiation of these

elements, the method enables to dissect stratified bodies, detect and determine the heterogeneity of the structure of the intrusive assemblages (acid, alkali). The faulted zones, which have been affected by metasomatic and hydrothermal transformations, have the disturbance of their equilibrium state of the natural radioactive elements. Gamma-ray spectrometry can determine reliably this faulted zone as the results of calculating above-background concentrations of the radioactive elements or their relationships. Airborne gamma-ray spectrometry is independent and more effective in combination with other geophysical methods, and can be widely applied for prospective assessment of ore-bearing and ore-controlling structures, exploration of deposits of radioactive, rare, non-ferrous and precious metals [16].

The first practice of using airborne gamma-ray spectrometry to identify kimberlite pipes has demonstrated that many kimberlite pipes have elevated thorium concentrations and reduced concentrations of potassium in contrast to enclosing rocks. However, attempts to open these anomalies by drilling were unsuccessful, and the method was rejected. Moreover, the following surveys on reference fields and geological interpretations have found that the method did not identify the kimberlite bodies themselves, but their secondary geochemical halos. Radiogeochemical halos of the Mirny kimberlite field confirm this. Their radiogeochemical halos were almost equivalent to the maps of mineral distribution of kimberlites. The only difference is in the time: one season of the aerial survey against several decades of drilling and surface excavation.

It is known that the use of magnetometry helped to explore more than half of Yakutia's kimberlite pipes and most kimberlites of the Arkhangelsk region, but it also is known that magnetic measurements did not identify diatremes of the Nakyn field, which are the unique in their diamond content. The Internatsionalnaya pipe, richest in diamond content per a ton in the Mirny field, has low level and small size of its local magnetic anomaly. If a substance-indicator module used in the exploratory method fails, effectiveness of magnetometry is largely determined by the work of four other modules used in the exploratory method (landscape and geological, technical and metrological, geological and interpretive, and certifying), which have lower

efficiency in exploration of diamond kimberlites. There are also studies on the analysis of the quality and reliability of the magnetometric method, which identified a number of possible and actual conditions where primary deposits of diamonds can be found [64].

The geoscientists carried out a ground gamma-ray spectrometry survey in the area of the Arkhangelskaya pipe of the Zolotitsa field on the Arkhangelsk diamond province. The results of the survey were maps of the total intensity of gamma radiation (pulses/sec), potassium content (%), concentration of uranium and thorium (ppm), which show the specifics of the spatial location of radioactivity in the rocks (Fig. A.1) [65].

A contrast anomaly forms around the pipe contour in terms of total radioactivity (pulses/s), which extends to the crateral facies rocks and enclosing deposits, and exceed the background by 2 orders on average. The central part of the pipe has decreased values of gamma field.

Similarly, anomalies of thorium, uranium and potassium have high values around the pipe contour. Concentrations of uranium and thorium vary within an average of 3 to 10 ppm and 8 to 32 ppm at this area, respectively. Potassium content also tends to have high values. This indicates that the kimberlites, which are forming the diatreme of the Arkhangelsk pipe, are depleted in uranium and other radioactive elements. Furthermore, uranium isotopes activity ratio is equivalent to one, which indicates the absence of conditions here for the separation of isotopes and long-term stable state rock. At the same time, we can observe active fractionation processes of uranium isotopes in rocks of the annulus, the apparent deficit of ^{234}U , accumulation of the other radioactive elements. This is due to the radiation exposure of uranium and its infiltration oxidation transportation and deposition near kimberlites, which have reducing properties [65, 66].

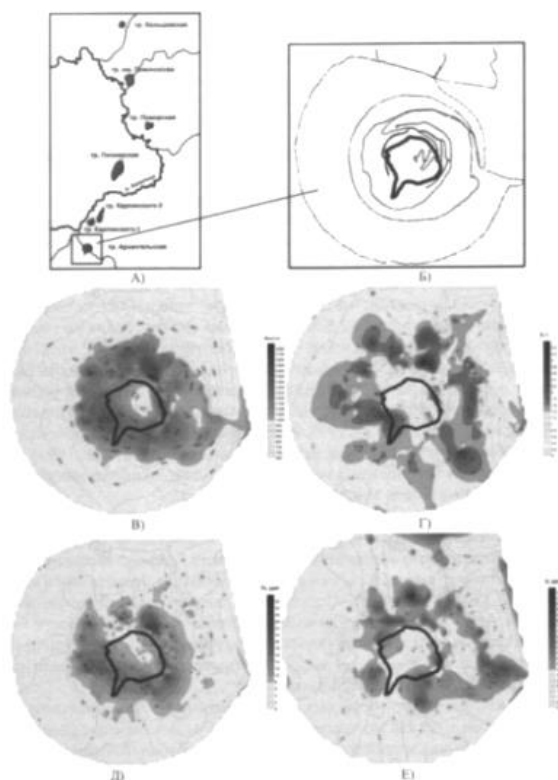


Figure A.1 – Layout of the studied area and distribution of radioactive elements in the rocks of Arkhangelsk pipe (according to Yakovlev E. Yu., 2015)

A) – Layout of the Zolotitsa ore field; B) - route of gamma-ray spectrometric survey; B) - total intensity of gamma radiation (pulses/sec); D) - distribution of the potassium content (%); D) - thorium concentration (ppm); E) - uranium concentration (ppm)

These regularities and processes justify the possibility of using gamma-ray spectrometric surveys to assess the prospectivity of ore-bearing and ore-controlling structures, for the exploration of non-radioactive minerals that are paragenetically or spatially linked with natural radioactive elements, particularly for the exploration of weakly diamondiferous kimberlite pipes.

Conclusion

«Unconformity type» uranium deposits are of great importance for the balance of the world's uranium reserves. Hence, Russia needs to expand the resource base of the nuclear industry owing to location of such large ore objects with highly value uranium ores on its territory.

The absences of large industrial deposits of this type in the territory of Russia and the CIS countries and the experience of multidisciplinary international study of foreign countries pose some challenges in the application of the geological analogy method. These difficulties are complicated by the variety of views on the conditions of the formation of «unconformity type» uranium deposits and the respective ideas of the role and significance of the specific conditions and factors of ore formation.

Methods of measuring radioactivity, the behaviour of natural radioactive elements in different geological processes, the foreign experience of prediction and exploration for «unconformity type» uranium fields were studied and analyzed in dissertation. Also there is a range of basic criteria for their location and formation has been identified, and the main directions and set of rational methods for prediction and exploration for this type of deposit in Russia have been noted.

In addition, the analysis of aerogeophysical studies on the study area in the western part of the Anabar Shield, and the identification of significant relationships between the ore-controlled geological and radiogeochemical environments, the elements of the physical field structure and the fields of concentration of the radio elements, which have been carried out in dissertation, allowing us to allocate prospective areas of the uranium mineralization of «unconformity type» in the area of the western part of the Anabar shield.