

На правах рукописи



ШУРИЛОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ

**ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИЯ
УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРКУ
(СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЕ ПРИЛАДОЖЬЕ)**

25.00.11 – Геология, поиски и разведка
твёрдых полезных ископаемых; минерагения

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ – 2005

Работа выполнена на кафедре ГМПИ Геологического факультета
Санкт-Петербургского Государственного Университета (СПбГУ)

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических
наук, доцент
Полеховский Юрий Степанович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Петров Борис Владимирович (ВСЕГЕИ);
кандидат геолого-минералогических
наук, доцент
Войнов Александр Сергеевич
(кафедра Изотопной геологии СПбГУ)

Ведущая организация: СЗГП «Севзапгеология»

Защита состоится 20 декабря 2005 г. в 14 часов на заседании
диссертационного совета Д.002.047.01 при Институте геологии и
геохронологии докембрия РАН по адресу: 199034, Санкт-Петербург,
наб. Макарова, 2, Институт геологии и геохронологии докембрия РАН,
в зале Учёного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института
геологии и геохронологии докембрия РАН

Автореферат разослан 5 ноября 2005 г.

Отзывы на автореферат просьба направлять по адресу:
199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2, Институт геологии и
геохронологии докембрия РАН, факс (812) 328-48-01

Учёный секретарь
диссертационного совета
кандидат геолого-минералогических наук



Щеглова Татьяна Павловна

2006-4
20032

2195747

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

Существование современного общества в целом невозможно без интенсивного развития энергетики. В настоящее время главную роль в энергетическом балансе играют углеводородные источники. На их эксплуатации зиждется экономика России и многих других стран. Однако, подобная ситуация не может сохраняться бесконечно долго. Запасы нефти и газа исчерпаемы, и уже в обозримой перспективе акцент неминусо должен сместиться в пользу альтернативных источников энергии, в первую очередь – ядерного. В последние десятилетия наблюдается устойчивая тенденция роста его потребления.

Мировая промышленность уже имеет достаточный опыт в использовании урана в качестве источника энергии. Индустрия развитых стран в значительной степени опирается на энергию мирного атома. Так, во Франции свыше 80 % потребностей в электричестве покрывается за счет АЭС.

На этом фоне особенно тревожно выглядит положение с урановой сырьевой базой России. Большинство разведанных советскими геологами месторождений находится теперь на территории сопредельных государств – Казахстана, Узбекистана, Украины.

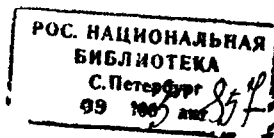
Почти все разведанные промышленные месторождения России сосредоточены в Стрельцовском рудном узле (Забайкалье), и в значительной мере уже они отработаны. Готовящееся к разработке Далматовское месторождение (Зауралье) не способно полностью удовлетворить современные потребности в ядерном сырье. Другие же известные урановорудные объекты либо малы по запасам, либо сложны в разработке, и, в силу сложившейся конъюнктуры мирового рынка, нерентабельны.

Таким образом, положение близко к критическому, и требует немедленного разрешения. Открытие крупного уранового месторождения в условиях развитой инфраструктуры северо-западного региона, могло бы стать оптимальным выходом из кризисной ситуации.

Исследование месторождения Карку – прямого аналога богатейших рудных объектов Канады и Австралии – позволяет выработать систему поисковых критериев месторождений типа «несогласия» в Приладожье и для Балтийского щита в целом.

Цель работы

Построение геолого-структурной модели месторождения Карку. Определение факторов рудоконтроля урановой минерализации месторождения, изучение связи руд месторождения с метасоматитическими изменениями вмещающих пород. Предложение гипотезы формирования урановых руд месторождения. Доказательство



правомерности отнесения урановородного объекта Карку к месторождениям типа «несогласия», демонстрация его соответствия предъявляемым к термину требованиям. Выделение специфических черт месторождения Карку, отличающих его от эталонных месторождений типа «несогласия».

Задачи работы:

- анализ геолого-структурной позиции месторождения, геохимических и минералогических особенностей оруденения;
- изучение рудосопровождающих процессов с привлечением данных структурного, петрологического и минералогического анализа;
- сравнение с эталонными объектами, выявление типичных и специфических черт месторождения Карку.

Фактический материал и методы исследований

В основу работы положены материалы, собранные автором в период работы в ГП «Невскгеология» в 2000-2003 годах в должности геолога-документатора, затем ведущего участкового геолога на месторождении Карку. Проведены исследования комплексных петрографических, минералогических, геохимических данных по 165 скважинам, пробуренным в районе месторождения Карку и на сопредельной территории. В работе использованы петрографические и минералогические макро- и микроскопические описания пород (более 2000 прозрачно-полированных и 500 полированных шлифов), данные рентгеноспектрального и лазерно-флуоресцентного анализов по 3200 пробам. При изучении руд месторождения произведены датировки различных генераций урановой минерализации (U/Pb анализ, CREGU, Нанси, Франция; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ анализ, Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ). С применением компьютерных технологий (Arc-View 3.2, Map-Info 7.8, ACDSec-3.0-6.0, Adobe Photoshop-7-9, CorelDraw-10-11, Microsoft Office XP) проведены исследования геолого-структурных особенностей месторождения, результаты исследований обработаны и адаптированы для демонстрации.

Научная новизна

1. Месторождение Карку – первое и пока единственное месторождение типа «несогласия» в России. Геологоразведочные работы на нём продолжаются, в диссертции использованы новые данные, ранее никем другим не публиковавшиеся.

2. До сих пор нет единого мнения в вопросе об образовании месторождений типа «несогласия». В данной работе изложена авторская точка зрения на проблему формирования руд месторождения Карку.

3. При общем сходстве с эталонными объектами, месторождение Карку отличается рядом специфических черт. В первую очередь это касается характера сопутствующего оруденению метасоматического

изменения вмещающих пород. Детальному описанию измененных пород, их структурному, вещественному и генетическому взаимоотношению с урановыми рудами посвящена значительная часть работы.

Практическая значимость

Изучение аналога крупнейших урановых месторождений имеет чрезвычайное значение – как фундаментальное, так и прикладное. Анализ геологических особенностей месторождения Карку не только проливает свет на вопросы образования месторождений типа «несогласия», но и дает возможность выработать систему поисковых критериев для дальнейших геологоразведочных работ в пределах рудного поля месторождения и на других территориях со сходным геологическим строением.

Результаты исследований используются в ходе геологических работ в Приладожье. Выработанные на их основе поисковые критерии позволяют интенсифицировать поисковый процесс и уже применяются СЗСП «Невскеология».

Апробация работы

Результаты исследований были представлены на научно-технических совещаниях во ВСЕГЕИ им. Карпинского (2001 и 2002 гг.), на конференции «Проблемы геодинамики и минерагении Восточно-Европейской платформы» (Воронежский университет, 2002 г), на конференции «Минералогические музеи» (С.-Петербургский Государственный Университет, 2002 г.), на международной конференции «Uranium Geochemistry» (Университет А. Пуанкаре, CREGU, Нанси, Франция, 2003 г), на XV молодежной научной конференции посвященной памяти К.О. Кратца (2004 г), на Международном симпозиуме МАГАТЭ «Uranium Production and Raw Materials for the Nuclear Fuel Cycle – Supply and Demand, Economics, the Environment and Energy Security» (МАГАТЭ, Вена, Австрия, 2005 г).

Объем и структура работы

Диссертация содержит 109 страниц текста (введение, 7 глав и заключение), 35 рисунков и 3 таблицы. Библиография включает 115 наименований. В приложении помещены 9 иллюстраций к тексту.

Благодарности

Автор выражает глубокую признательность сотрудникам ГП «Невскеология» - Пичугину В.А., Петрову Ю.В., Кушнеренко В.К., Апанасевичу А.В., Громову Ю.А., Беляеву В.Т., Шустову Б.Н., Роман Н.А., Глассу И.Д. оказавшим помощь в сборе материала, сотрудникам СПбГУ Тарасовой И.П., Бритвину С.Н. за проведение многочисленных минералогических исследований, а также Салтыковой А.К., Михайлову

В.А., Афанасьевой Е.Н., (ВСЕГЕИ), Бугровой И.Ю., Булдакову И.В. (СПбГУ) за консультации и содействие.

Специальную благодарность автор выражает научному руководителю диссертационной работы Полеховскому Ю.С.

Особой памяти заслуживает Поликарпов Валерий Иванович, бывший ведущий геолог ГП «Невскгеология», внесший неопределимый вклад в изучение месторождения.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, производится постановка задачи и содержится краткая аннотация работы по главам. Также дана оценка новизны, достоверности и практической ценности полученных результатов, сформулированы защищаемые положения.

Глава 1 освещает суть термина «месторождения типа несогласия» и обрисовывает состояние проблематики; в ней также рассматриваются методические аспекты проведенных исследований, перечисляются использовавшееся оборудование и программное обеспечение.

Глава 2 представляет собой очерк геологического строения и истории формирования юго-восточной части Балтийского щита. Район месторождения Карку располагается в пределах Раахе-Ладужской зоны – протяженного складчатого пояса, отделяющего архейский Карельский мегаблок от нижнепротерозойского Ладужско-Ботнического. Основание Раахе-Ладужской зоны сложено архей-протерозойскими породами, переработанными в ходе свекофеннской тектоно-магматической активизации.

Месторождение Карку находится на северо-восточном бортовом склоне крупного (120×200 км) прогиба рифейского возраста - Пашско-Ладужского бассейна. Расположение и общие очертания бассейна определяются его приуроченностью к узлу пересечения двух трансрегиональных тектонических поясов – Балтийско-Мезенского, имеющего здесь северо-восточное простирание, и Раахе-Ладужской зоны северо-западного простирания.

Большая часть бассейна скрыта водами Ладужского озера. Наземное распространение рифейских отложений, в основном, ограничено тремя разобщенными площадями, различающимися по размерам и составу разреза выполняющих их отложений – Приозерской, Пашской и Салминской.

Месторождение Карку располагается в пределах наименьшей из них – Салминской впадины. Основанием впадины, вытянутой вдоль побережья Ладужского озера на 40 км, служат метаморфические образования Раахе-Ладужской зоны и Салминского массива гранитов

рапакиви нижнерифейского возраста. Мощность вулканогенно-осадочного рифейского разреза впадины не превышает 360 м.

Многочисленные венд-палеозойские регрессии привели к образованию платформенного чехла, скрывающего на юго-востоке образования Балтийского щита.

В Приладожье установлены многочисленные проявления урановой минерализации. Древнейшие рудопроявления имеют возраст 2100-1750 млн. лет и локализованы среди пород кристаллического фундамента. Их образование связывается со свекофеннской тектоно-магматической активизацией. Помимо месторождения Карку, в рифейских отложениях Салминской впадины установлены два урановых рудопроявления и большое количество аномалий. В Южном Приладожье известна серия небольших месторождений в базальных горизонтах венда. Возраст урановой минерализации этих месторождений оценивается в 400-380 млн. лет, что соответствует ордовик-девонской активизации Балтийско-Мезенского тектонического пояса. Таким образом, имеются все основания рассматривать Приладожье, как металлогеническую провинцию с четко проявленной урановой специализацией.

В истории формирования уранового оруденения Приладожья выделяется три основных этапа:

I. Нижнепротерозойско-нижнерифейский крастогенез и кратонизция; в это время был сформирован уран-специализированный фундамент региона, образовались многочисленные проявления урановой минерализации.

II. Нижне-среднерифейский континентальный рифтогенез; тектоно-магматическая активизация этого периода обеспечила необходимые условия для образования рудных скоплений вблизи поверхности рифейского несогласия.

III. Ордовик-девонская тектоно-магматическая активизация, ответственная за образование месторождений в базальных отложениях венда Южного и Юго-Западного Приладожья.

В главе 3 внимание сосредоточено на факторах геолого-структурного контроля урановых месторождений и рудопроявлений Северного Приладожья.

В качестве основных геолого-структурных параметров локализации уранового оруденения в Северном Приладожье выделяются:

1. Зоны региональных разломов преимущественно северо-западного и меридионального направлений;

2. Узлы пересечения северо-западных и меридиональных разломов между собой, а также с поперечными разрывными структурами северо-восточного, значительно реже – широтного направлений;

3. Тектонически нарушенные периферийные части гранито-гнейсовых куполов, особенно в случаях их пространственного совмещения с региональными разломами и оперяющими разрывными структурами;

4. Приразломные зоны гидротермально-метасоматических изменений пород фундамента, в первую очередь – ореолы развития серицит-кварц-альбитовых метасоматитов и сульфидно-кварц-карбонатных жил;

5. Участки распространения гетерогенных пород, характеризующихся резким различием физико-химических свойств и, в особенности, присутствием горизонтов контрастного обогащения восстановителями (графитистых и сульфидсодержащих разностей);

6. Блоки фундамента с признаками интенсивной магматической проработки – как явными (вскрытые эрозией интрузивные образования), так и косвенными (глубинные геофизические неоднородности);

7. Зоны распространения пород фундамента, метасоматически измененных процессами гранитизации – скарноидов обрамления гранито-гнейсовых куполов, скарнов и грейзенов вблизи контактов гранитных интрузий различного возраста.

В главе 4 характеризуется геологическое строение района месторождения Карку, описывается его геолого-структурная позиция, параметры уранового оруденения и факторы рудоконтроля.

Участок месторождения Карку охватывает площадь около 2,3 кв. км в юго-западной части Центрального Горста. К настоящему времени обнаружено 3 разномасштабных залежи промышленных урановых руд. Рудные тела имеют сложную, пластово-линзовидную форму. Центральные части образованы богатыми (до 19% урана) рудами и окружены широким ореолом бедной урановой минерализации, постепенно разубоживающейся до некондиционных содержаний (менее 0,03 метропроцента урана).

На месторождении установлены следующие особенности локализации урановорудной минерализации.

1) Рудные залежи месторождения Карку проявляют явную приуроченность к поверхности нижнерифейского структурно-стратиграфического несогласия. Основной объем урановых руд месторождения сосредоточен в нижних горизонтах терригенных отложений приозерской свиты рифея. Распространены ореолы бедной и рядовой урановой минерализации на значительном отрыве выше поверхности несогласия – в средних и даже верхних горизонтах песчаниковой толщи. Установлены рудные пересечения и вблизи кровли каолинит-гидрослюдистой коры выветривания нижнепротерозойского фундамента, на расстоянии не более 5 м от поверхности несогласия. В большинстве случаев наблюдаются постепенные переходы оруденения из песчаников базального горизонта

риффея в породы фундамента. Однако, известны случаи нахождения бедного уранового оруденения в фундаменте при отсутствии его в песчаниковой толще. Установлены редкие аномальные концентрации урана в зонах тектонических нарушений пород фундамента, на глубине до 7 м ниже несогласия. Единичные аномалии установлены в минерализованных тектонических трещинах в вулканитах приозерской свиты. Характерна приуроченность ореолов бедных руд к долинообразным понижениям поверхности нижнерифейского несогласия, что отражается в наращивании мощности рудовмещающей терригенных отложений приозерской свиты (рис. 1).

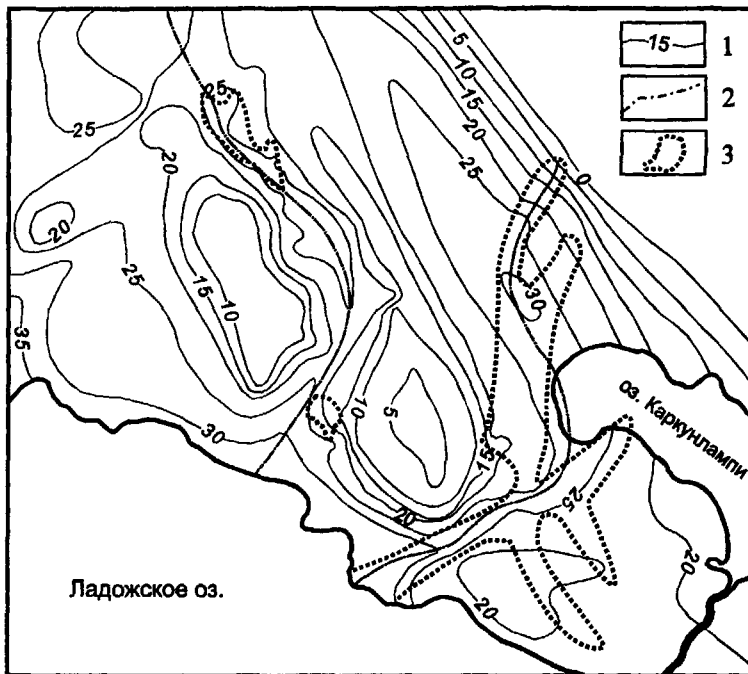


Рис. 1. Месторождение Карку. Схема мощностей рудоконтролирующей терригенной толщи. 1 - изопахиты; 2 - осевые линии палеодолин; 3 - ореол бедной урановой минерализации.

2) Все три рудные залежи месторождения Карку располагаются над синклинальными структурами обрамления купольных поднятий архей-нижнепротерозойских гранито-гнейсов.

3) Положение и кондиции уранового оруденения месторождения Карку связаны с содержанием графита в породах фундамента. Богатое

урановое оруденение строго соответствует зонам аномально высоких его концентраций в породах фундамента – 7-10 % и более. Корреляция бедной урановой минерализации с содержанием графита не столь однозначна. Большей частью она также распространена над графитистыми сланцами, но также устанавливается и на участках полного отсутствия графита.

4) Тела богатых, высокосортных руд месторождения Карку приурочены к участкам тектонизированных пород. Зоны аномальной графитизации, контролирующей высокосортную урановую минерализацию, в основном приурочены к субмеридиональным разломам фундамента (рис. 2 а). В узлах их пересечения с северо-западными разломами устанавливается максимальное обогащение пород графитом. Северо-западная разрывная тектоника представлена зонами трещиноватости, секущими весь дочетвертичный разрез. Ореол околорудных изменений пород соответствует этим зонам (рис. 2 б).

Первое защищаемое положение:

Богатые урановорудные концентрации месторождения Карку приурочены к узлам пересечения тектонических нарушений северо-западного направления и субмеридиональных зон наложенной графитизации. Распространение бедных руд контролируется долинообразными понижениями поверхности нижнерифейского несогласия.

Глава 5 посвящена результатам исследований процессов уранового рудогенеза месторождения Карку, урановой минерализации и метасоматических изменений вмещающих пород.

Характерной особенностью месторождения Карку является распространение вокруг залежей богатых урановых руд ореола сульфидно-хлорит-карбонатных метасоматитов (рис. 3). Ореол имеет зональное строение. Центральная, тяготеющая к поверхности нижнерифейского несогласия и пространственно совмещённая с телами высокосортных руд, представлена интенсивно карбонатизированными и сульфидизированными породами. Основу цемента образует кальцит. Зачастую он представлен крупными пойкилообластами, включающими обломочный материал. Порода имеет столь специфические свойства, что представляется целесообразным использование по отношению к ней специального термина – каркулит, впервые предложенного Ю.С. Полеховским в 2000 г. Породы коры физического выветривания непосредственно под каркулитами также интенсивно карбонатизированы и сульфидизированы. Максимально мощность зоны интенсивного сульфидно-карбонатного метасоматоза достигает пяти

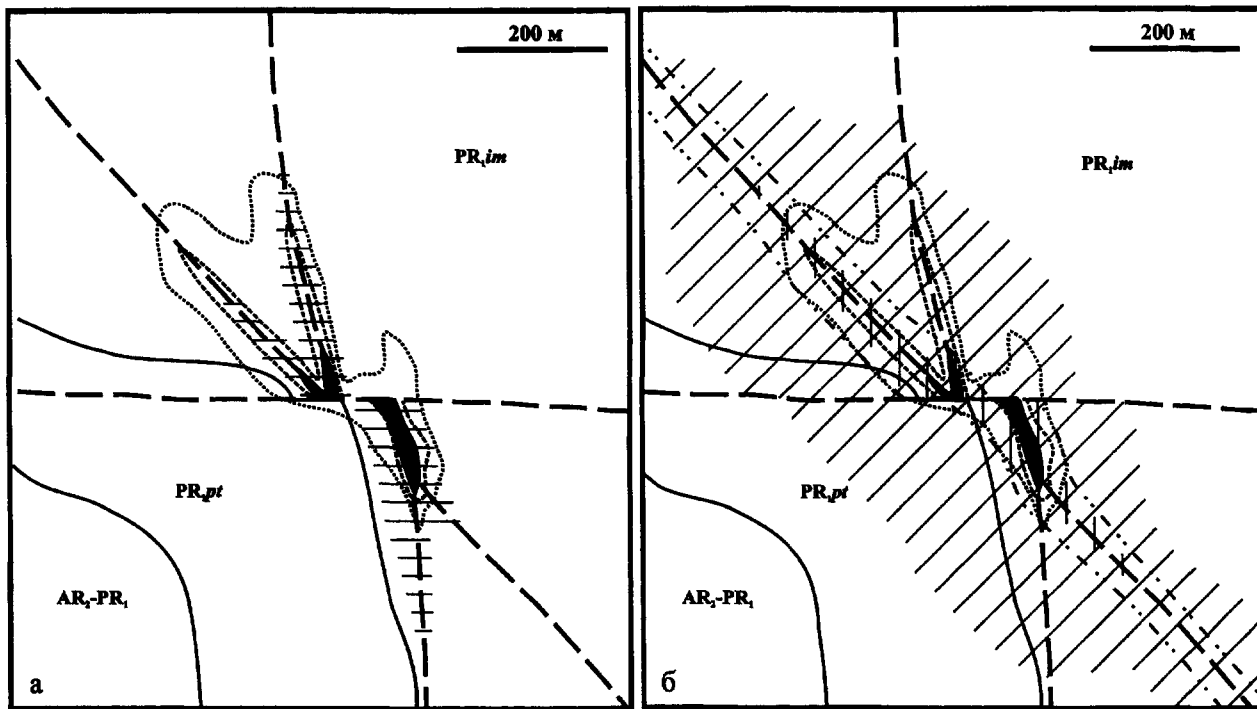
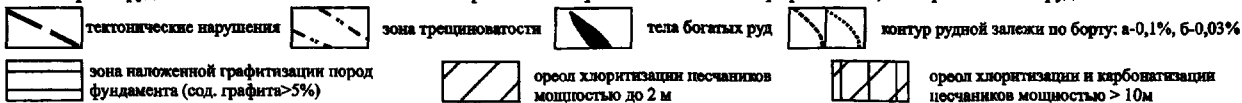


Рис. 2. Третья рудная залежь. Схемы геологического строения: а- с ореолом наложенной графитизации; б- с ореолом околорудных метасоматитов.



метров. Вдоль рудоконтролирующих тектонических нарушений она прослеживается на расстояние до 180 м, вкрест их простирания – до 30.

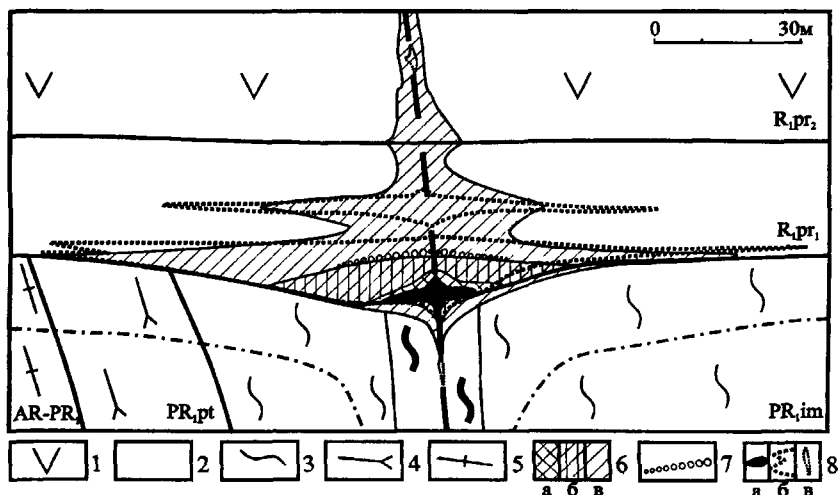


Рис. 3. Схематический разрез рудной залежи месторождения Карку. 1-основные вулканисты; 2-песчаники; 3-биотитовые сланцы; 4-амфиболовые сланцы; 5-гнейсы; 6-околорудные метасоматиты: а-каркулиты, б-карбонатные, в-хлориты; 7-пористые породы; 8-урановые скопления: а-богатые и рядовые, б-бедные.

Зона каркулитов окружена широким ореолом относительно слабой карбонатизации терригенных пород. По мере удаления от рудных тел степень карбонатизации снижается. Ореол распространён на сотни метров вдоль рудоконтролирующих разломов и на десятки метров в стороны. В разрезе он образует резко уплощенную на флангах линзу с раздувом (до 22 метров) вблизи короткой оси, соответствующей положению тел богатых руд.

Верхняя граница внешней зоны карбонатизации отбивается маломощным (1-2 м) горизонтом пористых гравелито-песчаников темно-серого, почти черного цвета. Для этого горизонта характерно интенсивное окварцевание – в порах нередко наблюдаются идиоморфные кристаллы новообразованного кварца.

Внешняя зона ореола метасоматических изменений представлена хлоритизированными породами. Выше пористого горизонта содержание кальцита в цементе песчаников относительно невелико и макроскопически обычно не устанавливается. По латерали зона хлоритизации наиболее широкое распространение имеет вблизи

поверхности несогласия, где она устанавливается на значительном удалении от основных тел богатых руд: по простиранию рудных залежей на расстоянии свыше 100 метров, вкрест – до 70 метров от контура балансовых руд (0,03%). Наибольшей мощности зона достигает над рудными телами, вдоль секущих песчаники рудоконтролирующих разломов. Здесь ореол хлоритизации достигает вулканогенной толщи, а непосредственно по тектоническим нарушениям проникает и в эффузивную толщу.

Породы коры выветривания затронуты сульфидно-хлорит-карбонатным метасоматозом в меньшей степени, чем песчаники, по причине своей большей уплотненности. Карбонатизация и сульфидизация проявлены слабее, обычно прослеживаются на глубину менее первых десятков сантиметров от поверхности несогласия.

На основе изучения изменений пород приозерской свиты и нижележащей коры выветривания фундамента, эпигенетические процессы, приведшие к образованию современного облика рудовмещающих толщ, подразделяются на четыре этапа (таблица 1). Выделено несколько генераций урановой минерализации. Наиболее ранняя – настуран-1 имеет нижнерифейский возраст (1405 ± 76 млн. лет, U/Pb анализ, CREGU, Нанси, Франция) и сопровождается интенсивным сульфидно-хлорит-карбонатным метасоматозом. Вторая генерация – настуран-2 (1131 ± 32 млн. лет, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ анализ, ЦИИ ВСЕГЕИ) обростает и частично замещает настуран-1. К этому времени относится и появление первой генерации коффинита.

К третьему этапу эпигенетических преобразований относятся карбонатные прожилки, секущие все рифейские породы, а также и участки с ранней урановой минерализацией. Они приводят к дальнейшему разубоживанию урановорудных тел. Вместе с тем, датировки бедной урановой минерализации, установленной в жильных образованиях среди вулканитов приозерской свиты, дают основание говорить об ещё одном, хотя и не очень значительном, эпизоде гидротермального рудообразования, имевшем место на рубеже силур-девон. Возраст ранней фазы этой новой генерации урановых минералов (настуран-3, 412 ± 11 млн. лет, U/Pb анализ, CREGU, Нанси, Франция) хорошо коррелируется с временем формирования урановорудной минерализации в вендских отложениях Южного Приладожья.

Четвертому этапу соответствуют изменения, связанные с воздыманием основания Пашско-Ладожского бассейна, сопутствующим размывом рифейских толщ и проникновением поверхностных вод в рудоконтролирующую толщу. Этим процессом обусловлено образование гидроксильных соединений (гидрослюд, гидрохлорит, гидроксиды железа и марганца). Вдоль неотектонических трещин

развиваются зоны обохривания, лимонитизации, каолинизации и оглеения пород. Происходит размыв и разубоживание ранее образованных рудных скоплений. Урановая минерализация этого этапа представлена коффинитом, карнотитом и гидронастураном.

Таблица 1. Последовательность эпигенетического минералообразования на месторождении Карку

Этапы Минералы	I			II	III	IV
	1	2	3			
Кварц	■				■	
Диксит	■					
Хлориты	■	■	■		■	
Кальцит	■	■	■			
Fe-сульфиды	■	■	■			
Cu-Fe-сульфиды	■	■				
Zn-сульфиды	■	■	■			
Молибденит	■	■				
Апатит						
Ильменит и рутил	■	■		■		
Fe-оксиды	■	■		■	■	
Cd-сульфиды			■			
Сульфарсениты и арсениты Fe, Ni, Co			■			
Fe-Pb-Mo фаза			■			
Флюорит			■			
Al-лизардит			■			
Битум			■			
Галенит			■	■	■	
Настуран			■	■	■	
Коффинит				■	■	
Гидронастуран					■	
Карнотит						■
Fe-гидроксиды				■	■	■
Гидрохлорит и гидроспеллы				■	■	■
Cu-сульфиды						■
Медь самородная						■
Mn-оксиды						■
Каолинит						■

Второе защищаемое положение:

Богатая урановородная минерализация месторождения Карку пространственно и генетически связана с метасоматитами сульфидно-хлорит-карбонатного состава.

В главе 6 излагается авторская концепция происхождения урановой минерализации месторождения Карку.

Основным источником урана принимаются рудные концентрации в тектонизированных зонах фундамента. Сопутствовавшая рифейской активизации циркуляция разогретых флюидов по ослабленным зонам фундамента обусловила ремобилизацию урановых скоплений свекофеннского возраста.

Также, в качестве дополнительных источников могут быть представлены уран-специализированные породы фундамента (в первую очередь – графитсодержащие породы сортавальской и ладожской серий), рифейского терригенного покрова, а также раннепротерозойские гранитоиды и поздние фазы Салминского плутона.

Мобилизация урана осуществлялась в основном флюидами мантийного происхождения, циркулировавшими по ослабленным зонам земной коры в период рифейской тектоно-магматической активизации. На это указывает сопутствующее урановому оруденению высокое содержание халькофилов. Помимо ювенильных флюидов, в процессе рудопереноса, вероятно, также участвовали захороненные пластовые воды. Направление их миграции в песчаниках чехла и по ослабленным зонам фундамента определялось термическим градиентом. Существование последнего в целом, и восходящих флюидов, в частности, определялось влиянием нескольких факторов, наиболее важными из которых являлись:

- 1) глубинные магматические очаги;
- 2) радиоактивный распад погребенных урановородных скоплений;
- 3) гетерогенное строение фундамента; так, контролирующее положение рудных залежей графитизированные породы характеризуются лучшей, по сравнению с другими метаморфическими образованиями, теплопроводностью.

Уран мигрировал в форме уранил-карбонатных комплексов $(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_n \cdot \text{H}_2\text{O}$, и, возможно, отчасти – оксигалогенидов $(\text{UO}_2)\text{F}_2$ и $(\text{UO}_2)\text{Cl}_2$. На это указывает широкое распространение в рудовмещающих метасоматитах карбонатов и галогенидов – кальцита, хлорита, флюорита. Движение рудоносных флюидов происходило преимущественно по тектоническим зонам северо-западного простирания, о чём свидетельствует ориентировка ореола хлорит-карбонатных метасоматитов. В узлах пересечений с разломами другого

простирались происходило локальное распространение флюидов по альтернативным направлениям.

Предшествовавшее рудогенезу излияние базальтовых эффузивов обеспечило насыщение пластовых вод нижележащих терригенных пород ионами диссоциированных кальция, магния и железа. Об этом свидетельствует хлоритизация и карбонатизация приконтактных горизонтов кровли песчанниковой толщи. Связывание Si и $(\text{CO}_3)^{2-}$ указанными катионами привело к образованию ореола окислительных кальцит-хлоритовых метасоматитов. Этот был не единовременный, а полистадийный процесс.

Характер ранних, дорудных стадий эпигенетических изменений песчанников приозерской свиты указывает на то, что проникновению восстановительных рудоносных флюидов предшествовала волна кислотных растворов, приведшая к выщелачиванию цемента и, отчасти, обломочной составляющей песчанников. На этих стадиях началось формирование широкого ореола хлоритизации, произошло образование сульфидов Fe, Cu, Zn, оксидов Fe, Ti и других.

Следующая стадия эпигенетического процесса является основной в образовании урановых руд месторождения Карку. На этой стадии рудоносные флюиды достигли терригенной толщи. К основным причинам разрушения миграционных соединений урана вблизи поверхности нижнерифейского несогласия относятся:

- 1) проникновение глубинных флюидов в верхние горизонты земной коры обусловило снижение их температуры и давления, и, как следствие, насыщение растворов;

- 2) дегазация глубинных флюидов в условиях резкого снижения давления при переходе из плотных метаморфических пород фундамента в пористую среду терригенных отложений;

- 3) снижение pH ураноносных восстановительных флюидов при смешивании с кислыми пластовыми водами. На кислый состав последних указывает рудиментарная красновато-бурая окраска песчанников.

Приуроченность рудных залежей к узлам пересечения рудоподводящих северо-западных разломов с древними меридиональными разрывными дислокациями объясняется двумя обстоятельствами:

- 1) графитизированные и сульфидизированные меридиональные разломы были концентраторами урановой минерализации в свекофенскую эпоху;

- 2) гидротермальная проработка графитизированных пород обусловила возникновение геохимического барьера, на котором

происходило восстановление урана ($U^{6+} \rightarrow U^{4+}$) и выпадение его в настурановой минеральной фазе.

Суперпозиция всех вышеперечисленных факторов в конце нижнего рифея обеспечила образование высокосортных руд месторождения Карку. Ранняя генерация настурана имеет возраст 1405 ± 76 млн. лет.

Возраст следующего поколения урановой минерализации (1131 ± 32 млн. лет) соответствует очередному эпизоду эндогенной активности. Под воздействием новой порции глубинных флюидов, восстающих по разломным зонам, был образован настуран-2 обрастающий и частично замещающий настуран-1.

Образование широкого ореола бедной коффинитовой минерализации произошло в основном за счёт размыва и переотложения ранее образованных руд. Помимо этого имело место постушение новых порций глубинных рудоносных флюидов, на что указывает присутствие коффинитовой минерализации в тектонических нарушениях фундамента значительно ниже поверхности несогласия.

Начавшись в среднем рифее, перераспределение урана рудных залежей продолжалось и в последующие эпохи, на что указывают полихронный возраст урановых минералов (в первую очередь – коффинитов). Помимо ремобилизации ранее отложившегося урана также, несомненно, имело место постушение новых порций глубинных рудоносных флюидов. Датировки поздних генераций урановой минерализации свидетельствуют об одном из таких событий на рубеже 412 млн. лет. Возникновение её связывается с оживлением северо-восточной тектонической системы Балтийско-Мезенского тектонического пояса в силуре-девоне, обусловившим также образование урановых месторождений в вендских отложениях Южного Приладожья. Однако вклад этой поздней минерализации в общий ресурс месторождения Карку представляется незначительным.

Постепенное воздымание основания бассейна привело к размыву рифейских отложений и проникновению поверхностных вод в рудовмещающую толщу. Их воздействие на рудовмещающие породы проявилось в широком развитии гидроксидов железа и постепенном перераспределении урана.

Таким образом, урановое оруденение месторождения Карку является полигенным и полихронным, однако основной объём руд образовался в рифейское время, в результате гидротермально-метасоматической проработки уран-специализированных комплексов фундамента и ремобилизации погребённых нижнепротерозойских залежей.

В главе 7 производится обзор геологии месторождений типа «несогласия», а затем – сравнение эталонных урановорудных объектов этого типа с месторождением Карку.

Геологоразведочные работы, приведшие к открытию месторождения Карку изначально были нацелены на поиск месторождения типа «несогласия». До настоящего времени было известно две основные урановорудные провинции с месторождениями типа «несогласия» – бассейн Атабаска (Канада) и прогиб Пайн-Крик (Австралия).

На основании существенных различий положения урановой минерализации в геологическом разрезе, выделяются три структурных подтипа месторождений типа «несогласия»:

I. «Канадский» подтип. Месторождения в песчаниках. Основные рудные тела имеют пластово-линзовидную форму, удлинённую вдоль «несогласия». Возможно развитие рудной минерализации в корях выветривания пород фундамента и по тектоническим дислокациям как выше, так и ниже ССН. Крупнейшие по запасам урановых руд месторождения Восточной Атабаски (Мак-Артур, Сигар-Лейк), месторождения Мидуэст-Лейк, Уэст-Бёр и другие.

II. «Австралийский» подтип. Месторождения в породах фундамента. Жилообразные рудные тела располагаются по падению тектонических нарушений кристаллического фундамента на существенном удалении от поверхности ССН, или же вблизи неё, но не проникают в терригенный покров. Почти все месторождения провинции Аллигейтор Ривер, месторождения района Клафф-Лейк и Доменик-Питер бассейна Атабаска.

III. «Смешанный» подтип. Рудные тела сложной, комплексной формы распространены как выше, так и ниже «несогласия». Месторождения Раббит-Лейк, Ки-Лейк, Сью, Игл-Пойнт бассейна Атабаска, единичные урановорудные объекты австралийской провинции Саут-Аллигейтор Ривер.

Рудные залежи месторождения Карку строго приурочены к поверхности ССН. Рудная минерализация сконцентрирована в терригенном покрове, и, в значительно меньшей степени – в корях выветривания кристаллического фундамента. Таким образом, по своим структурным параметрам оно соответствует «канадскому» подтипу месторождений типа «несогласия».

Среди прочих геолого-структурных параметров, демонстрирующих сходство месторождения Карку с другими урановорудными объектами типа «несогласия», основными являются:

1. Положение месторождения в межблоковой, пограничной с архейским кратоном структурно-формационной зоне гетерогенного строения, образованной породами архейского и нижнепротерозойского возраста – Раахе-Ладожской зоны.

2. Локализация месторождения в зоне региональных тектонических нарушений – Рускеальской системы разломов.

3. Рудные залежи приурочены к узлам пересечения разломов различных тектонических систем.

4. Основные рудные концентрации расположены над участками наложенной графитизации и сульфидизации пород фундамента.

5. Положение рудных залежей в обрамлении гранито-гнейсовых купольных структур.

6. Залежи богатых руд окружены ореолом интенсивных метасоматических изменений вмещающих пород.

7. Оруденение полихронное, но богатые руды образованы урановой минерализацией ниже-среднерифейского возраста.

Отличают месторождение Карку от других урановорудных объектов типа «несогласия» следующие особенности:

1. Рудовмещающие отложения приозерской свиты, в отличие от кварцевых песчаников формаций Атабаска и Комболджи, имеют полевошпат-кварцевый состав и образовались существенно позже. Если осадконакопление в прогибах Атабаска и Пайн-Крик относится к периоду 1700-1650 млн. лет, то отложения Пашско-Ладожского прогиба образовались не ранее 1500 млн. лет (время внедрения последней фазы подстилающего Салминского массива гранитоидов).

2. Мощность рудовмещающей терригенной толщи в районе месторождения Карку редко превышает 30 метров, в то время как мощность формации Атабаска может достигать многих сотен метров.

3. Терригенные породы рудоконтролирующей толщи перекрыты мощным горизонтом основных вулканитов.

4. В строении фундамента территории месторождения Карку участвуют нижнерифейские граниты формации рапакиви (Салминский массив), неизвестные в других районах с месторождениями типа «несогласия».

5. Кора палеовыветривания кристаллического фундамента в районе Карку имеет меньшую мощность, чем в провинциях эталонных месторождений типа «несогласия». Интенсивное ожелезнение выветрелых метаморфических пород в общем случае нехарактерно.

6. Урановорудные залежи Карку локализованы в долинообразных понижениях поверхности палеорельефа метаморфического фундамента.

На месторождениях Канады и Австралии подобной закономерности не установлено.

7. В отличие от протяжённых поясов сульфидно-графитистых миллионитов, контролирующих урановые залежи месторождений типа «несогласия» Канады и Австралии, участки значительного обогащения пород графитом и сульфидами в районе месторождения Карку не прослеживаются на большие расстояния. Это снижает их эффективность в качестве зон уранового рудоотложения, что отрицательно сказывается на параметрах оруденения.

8. Рудные залежи месторождения Карку имеют размытые границы: небольшие тела богатых руд окружены широким ореолом бедной урановой минерализации. Рудные залежи эталонных объектов типа «несогласия» характеризуются компактностью.

9. Оруденению месторождения Карку сопутствует интенсивная карбонатизация рудовмещающих пород, в то время как околорудные метасоматиты месторождений Канады и Австралии имеют, преимущественно, глинистый состав.

10. Изменения пород, вмещающих урановые руды месторождения Карку, в целом слабее (размеры ореола околорудных метасоматитов меньше, сохранность аутентичных текстур и минералогического состава лучше), что соответствует меньшей проявленности рудообразующего процесса.

Третье защищаемое положение диссертационной работы:

По своим геолого-структурным характеристикам месторождение Карку представляет собой «карельскую» разновидность «канадского» подтипа урановорудных объектов типа «несогласия».

Заключение

Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

- Установлена приуроченность рудных залежей к разрывным структурам северо-западного и меридионального направлений.
- Продемонстрирована приуроченность богатой урановой минерализации к зонам наложенной графитизации пород фундамента.
- Показана пространственная связь ореола бедной минерализации с депрессионными, долинообразными формами палеорельефа кристаллического фундамента.
- На основе изучения петрологии рудовмещающих пород, последовательности эпигенетического минералообразования, корреляции разных типов урановой минерализации с определёнными

петрографо-минеральными ассоциациями была установлена пространственно-генетическая связь урановых руд с сульфидно-хлорит-карбонатными метасоматитами.

- В результате обобщения и осмысления фактических данных сделан вывод о полигенном происхождении руд месторождения Карку. Формирование ранней, высокосортной урановой минерализации, представленной настураном, обусловлено гидротермальными процессами. Основными источниками урана являлись древние погребенные концентрации, а также радиохимически специализированные породы кристаллического фундамента и терригенного покрова. Ореол бедной коффинитовой минерализации большей частью образовался в результате размыва древних руд пластовыми водами, то есть имеет гидрогенную природу. Направление миграции пластовых вод в значительной степени определялось палеорельефом фундамента, что обусловило положение ореола бедных руд в желобовидных линейных впадинах.

- На основе сравнения месторождения Карку с эталонными урановорудными объектами типа «несогласия» подтверждена справедливость его отнесения к данному типу. Указано на многочисленные особенности карельского месторождения, обусловленные спецификой геологической ситуации южной части Балтийского щита в целом, и Приладожья – в частности.

- Основным практическим результатом работы является уточнение факторов рудоконтроля месторождения Карку, что может быть использовано при проведении на нём дальнейших геологоразведочных работ, а также при поисках других урановых объектов подобного типа.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Полеховский Ю.С., Тарасова И.П., Бритвин С.Н., Пичугин В.А., Шурилов А.В. Рудные парагенезисы уранового месторождения Карку (Северо-Восточное Приладожье). В сборнике: Минералогические музеи. С.-Петербург, 2002. с. 122-124.
2. Полеховский Ю.С., Золотарёв А.А., Шурилов А.В., Харина Н.А. Агаты в рифейских базальтоидах на р. Тулемайоки (Приладожье, Карелия). В сборнике: Минералогические музеи. С.-Петербург, 2002, с. 330-331.
3. Шурилов А.В., Полеховский Ю.С. Геодинамические условия формирования и минерагенические особенности уранового месторождения Карку (Южная Карелия). В книге: Проблемы геодинамики и минерагении Восточно-Европейской платформы. Воронежский ун-т, Воронеж, т. 2, 2002, с. 330-333.
4. Shurilov A.V., Polekhovsky Yu.S., Tarasova I.P., Petrov Yu.V. Geology and ore paragenesis of the Karku uranium deposit (North-Eastern Ladoga region). В сборнике: Uranium Geochemistry 2003, Uranium Deposits-Natural Analogs-Environment, Nancy, France, 2003, с. 347-350.
5. Шурилов А.В., Полеховский Ю.С., Петров Ю.В. Геологические особенности и генезис уранового месторождения Карку (Северо-Восточное Приладожье). В сборнике: Метаморфизм, гранитообразование и рудогенез (к 100-летию Н.Г. Судовикова). С.-Петербург, НИИЗК СПбГУ, 2003, с. 118-121.
6. Шурилов А.В. Геолого-структурная позиция уранового месторождения Карку (Южная Карелия). В сборнике: Геология и геоэкология Европейской России и сопредельных территорий (Материалы XV молодежной научной конференции посвящённой памяти К.О. Кратца). С.-Петербург, 2004, с. 186.
7. Кушнеренко В.К., Петров Ю.В., Пичугин В.А., Громов Ю.А., Шурилов А.В., Полеховский Ю.С., Тарасова И.П., Бритвин С.Н. Геологическое строение и последовательность эпигенетического минералообразования уранового месторождения Карку (северо-восточное Приладожье). В сборнике: Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. Вып. 146, Москва, 2004, с. 11-22.
8. A. Shurilov, Yu.S. Polekhovsky, I.P. Tarasova, P. Kister. Karku Uranium Deposit: Structural Localization and Ore Mineralogy, Pasha-Ladoga Basin, Russia. В сборнике: Uranium Production and Raw Materials for the Nuclear Fuel Cycle. Vienna, Austria, 2005, с. 206-209.

Подписано в печать 25.10.05
Объем 1.0 п.л. Тираж 150 экз. Заказ №938
Отпечатано в типографии ООО «ДимАрк». С-Пб, ул. Гороховая 57/7.

№ 2 1 4 0 6

РНБ Русский фонд

2006-4

20032