

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 05.04.01 Геология  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение геологии

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Минералого-геохимические особенности месторождений типа Окло</b>

УДК 553.495:549:550.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ЛМ71	Габитов Руслан Витальевич		

Руководитель ВКР

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына З.В.	К.Т.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООТД	Мезенцева И.Л.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Язиков Е.Г.	Д.Г – М.Н		

**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, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Профессиональные компетенции</b>		
P1	<b><u>Фундаментальные знания</u></b> Применять <i>базовые</i> и <i>специальные</i> математические, естественнонаучные, гуманитарные, социально-экономические и технические знания в междисциплинарном контексте для решения <i>комплексных инженерных проблем</i> в области <i>прикладной геологии</i> .	Требования ФГОС ВПО (ОК-1, 2, ОК-6, ОК-12, 13, ОК-20, ПК-2, ПК-10, ПК-21, ПК-23,) (АВЕТ-3а,с,h,j)
P2	<b><u>Инженерный анализ</u></b> Ставить и решать задачи <i>комплексного инженерного анализа</i> в области поисков, геолого-экономической оценки и подготовки к эксплуатации месторождений полезных ископаемых с использованием современных аналитических методов и моделей.	Требования ФГОС ВПО (ОК-1, 2, 3, ОК-13, ОК-15, ОК-18, ОК-20, ОК-21, ПК-1, ПК-3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14 – 17, ПСК-3.1, ПСК-3.5, 3.6), (АВЕТ-3b)
P3	<b><u>Инженерное проектирование</u></b> Выполнять <i>комплексные инженерные проекты</i> технических объектов, систем и процессов в области прикладной геологии с учетом <i>экономических, экологических, социальных и других ограничений</i> .	Требования ФГОС ВПО (ОК-1, 4 – 8, 14, ПК-3, 6 – 9, 11, 18 – 20) (АВЕТ-3с).
P4	<b><u>Исследования</u></b> Проводить исследования при решении <i>комплексных инженерных проблем</i> в области <i>прикладной геологии</i> , включая прогнозирование и моделирование природных процессов и явлений, постановку эксперимента, анализ и интерпретацию данных.	Требования ФГОС ВПО (ОК-3, 5, 9, 10, 14 – 16, 21, ПК-10, 11, 21 – 25, ПСК), (АВЕТ-3b,c)
P5	<b><u>Инженерная практика</u></b> <i>Создавать, выбирать и применять</i> необходимые ресурсы и методы, современные технические и <i>IT</i> средства при реализации геологических, геофизических, геохимических, эколого-геологических работ с учетом <i>возможных ограничений</i> .	Требования ФГОС ВПО (ПК-7 – 9, 28 – 30 ПСК) (АВЕТ-3е, h)
P6	<b><u>Специализация и ориентация на рынок труда</u></b> Демонстрировать компетенции, связанные с <i>особенностью проблем, объектов и видов комплексной инженерной деятельности</i> , не менее чем по одной из специализаций: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых</i></li> <li>• <i>Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания</i></li> <li>• <i>Геология нефти и газа</i></li> </ul>	Требования ФГОС ВПО (ОК-8 – 10, 12, 15, 18, 20, 22, ПК-1, ПСК) (АВЕТ-3с,e,h)
<b>Универсальные компетенции</b>		
P7	<b><u>Проектный и финансовый менеджмент</u></b> Использовать <i>базовые</i> и <i>специальные</i> знания проектного и финансового менеджмента, в том числе менеджмента рисков и изменений для управления <i>комплексной инженерной деятельностью</i> .	Требования ФГОС ВПО (ОК-1 – 3 13 – 16, 20, 21, ПК-4 – 6, 15, 18 – 20, 23 – 25, 27 – 30, ПСК-1.2, 2.2) (АВЕТ-3е,k)
P8	<b><u>Коммуникации</u></b> Осуществлять эффективные коммуникации в профессиональной среде и обществе, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной инженерной деятельности</i> в области <i>прикладной геологии</i> .	Требования ФГОС ВПО (ОК-3 – 6, 8, 16, 18, 21, ПК-3, ПК-6, ПСК) (АВЕТ-3g)
P9	<b><u>Индивидуальная и командная работа</u></b>	Требования ФГОС ВПО (ОК-

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	Эффективно работать индивидуально и в качестве <i>члена</i> или <i>лидера команды</i> , в том числе междисциплинарной, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных инженерных проблем</i> .	4, 6, 18, ПК-3, 6, 11, 27, 30, ПСК-1.2) (АВЕТ-3d)
Р10	<b><u>Профессиональная этика</u></b> Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать нормам профессиональной этики и правилам ведения <i>комплексной инженерной деятельности</i> в области прикладной геологии.	Требования ФГОС ВПО (ОК-7, 8, 19, ПК-9, 16), (АВЕТ-3f)
Р11	<b><u>Социальная ответственность</u></b> Вести <i>комплексную инженерную деятельность</i> с учетом социальных, правовых, экологических и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности, нести социальную ответственность за принимаемые решения, осознавать необходимость обеспечения устойчивого развития.	Требования ФГОС ВПО (ОК-5, 7, 8, 10, 13, 14, 16 – 21, ПК-27-30) (АВЕТ-3с,h,j)
Р12	<b><u>Образование в течение всей жизни</u></b> Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению</i> и непрерывному <i>профессиональному совершенствованию</i> .	Требования ФГОС ВПО (ОК-9 – 12, 14, 20) (АВЕТ-3i)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 05.04.01 Геология  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение геологии

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Язиков Е.Г.  
 (Подпись)     (Дата)     (ФИО)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
2ЛМ71	Габитову Руслану Витальевичу

Тема работы:

Минералого-геохимические особенности месторождений типа Окло	
Утверждена приказом директора	От 11.02.2019 №1060/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(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.).</i></p>	<p>Предметом исследования являются образцы руд месторождения Богомбо, данные рентгеноструктурного исследования проб, данные электронной микроскопии, данные по результатам ранее проведенных исследований.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования;</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Материалы и методы исследования</li> <li>2. Краткая характеристика района исследования</li> <li>3. Геологическое строение месторождений типа Окло (Республика Габон)</li> </ol>

<i>содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	4. Минералого-геохимические особенности месторождений типа Окло (Республика Габон) 5. Социальная ответственность 6. Финансовый менеджмент Заключение Список использованной литературы
---	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП Криницына З.В.
Социальная ответственность	Ассистент ООТД Мезенцева И.Л.

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

**Natural fusion reactors of Oklo uranium deposit (Republic of Gabon)**

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**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
2ЛМ71	Габитов Р.В.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2ЛМ71	Габитову Руслану Витальевичу

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа природных ресурсов</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Отделение геологии</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	05.04.01 Геологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Сметная стоимость камеральных и полевых работ</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Сборник сметных норм ССН-93 выпуск 7 «Лабораторные исследования полезных ископаемых и горных работ»</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>20% НДС;</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Расчет затрат времени и труда</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составление плана исследований по анализу проб урановой руды</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Общий расчет сметной стоимости</i>

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2ЛМ71	Габитов Руслан Витальевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ЛМ71	Габитов Руслан Витальевич

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Геология
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	05.04.01 «Геология»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	Объект исследования – образы руд месторождения Окло, Республика Габон. Рабочее место расположено в 540, а также 533 аудитории 20 корпуса ТПУ. Имеет естественное и искусственное освещение, компьютерные столы с полочками для литературы, компьютеры.
---	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</i>	ГОСТ 12.0.003-74. ФЗ от 22.07.2008 N 123-ФЗ, СанПиН 2.2.4.3359-16, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, Р 2.2.2006-05, ГОСТ 12.1.038-82, ГОСТ 12.1.018-93, ГОСТ Р 55090-2012, ФЗ-197
<i>2. Производственная безопасность</i> <i>2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов</i> <i>2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия</i>	<i>1. Вредные факторы:</i> - Освещение рабочей зоны - Микроклимат в помещении - Зрительное напряжение - Степень нервно-эмоционального напряжения; - Монотонность труда; - Шум. <i>2. Опасные факторы:</i> - Электрический ток; - Короткое замыкание - Статическое электричество
<i>3. Экологическая безопасность</i>	- Правила утилизации ПК и комплектующих; - Правила утилизации макулатуры; - Правила утилизации люминесцентных ламп
<i>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</i>	- Возникновение пожара

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООТД	Мезенцева И.Л.			

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ЛМ71	Габитов Руслан Витальевич		

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация состоит из 98 страниц, содержит 31 рисунок, 12 таблиц, 35 источников, в том числе 13 нормативных.

Ключевые слова: уран, природный ядерный реактор, Окло, Богомбо, Республика Габон.

Объектом исследования являются месторождения типа Окло, образцы урановой руды месторождения Богомбе (Республика Габон).

Цель работы: изучение и выявление минералого-геохимических особенностей месторождения урана Окло – Богомбе (Республика Габон).

Методология: в процессе исследования проводился обзор литературы по теме, лабораторные исследования образцов руды (рентгенофазовый анализ (РФА), электронная микроскопия), обработка и анализ полученных результатов.

В результате работы описаны геологические особенности месторождений и их реакторных зон, проведен рентгенофазовый и электронно-микроскопический анализы образцов руды, описан минеральный состав образцов урановых руд месторождения Богомбе.



## Оглавление

РЕФЕРАТ .....	8
Введение.....	11
1. Материалы и методы исследований.....	13
2. Краткая характеристика района исследования .....	15
2.1 Краткий очерк района исследований .....	15
2.2 Полезные ископаемые .....	16
2.3 Стратиграфия.....	18
2.4 Тектоника и магматизм .....	27
3. Геологическое строение .....	29
3.1 Геологическое строение месторождений Окло-Богомбе (Республика Габон) .....	29
3.2 Морфология рудных тел и особенности локализации реакторов.....	31
3.3 Взгляды на генезис месторождения .....	34
4. Минералого-геохимические особенности месторождений типа Окло (Республика Габон) .....	38
4.1 Минералогические особенности.....	38
4.1.1 Результаты РФА .....	42
4.1.2 Результаты электронной микроскопии .....	47
4.2 Геохимические особенности .....	51
5. Социальная ответственность .....	56
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	56
5.2 Производственная безопасность.....	58
5.3 Анализ вредных и опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	59

5.3 Экологическая безопасность.....	68
5.4 Безопасность в чрезвычайной ситуации.....	70
5.5 Заключение по разделу.....	71
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	72
6.1 Расчет затрат времени и труда по видам работ.....	73
6.2 Перечень и нормы расхода материалов на рентгеноструктурный анализ	75
6.3 Общая стоимость лабораторных анализов.....	76
6.4 Общий расчет сметной стоимости .....	77
Заключение .....	79
Список литературы: .....	81
Приложение А .....	85

## Введение

Естественные ядерные реакторы, существовавшие на территории Республики Габон, уникальны. Вероятность того, что естественная цепная ядерная реакция могла происходить в прошлом, впервые была предсказана Куродой П.К. [12] 1956 году. Для подтверждения его предположения пришлось ждать вплоть до 1972 года, чтобы наконец обнаружить, что такие реакции действительно происходили 2 млрд. лет назад на урановом месторождении Окло (Франсвильская серия, Республика Габон) [1]. Другие известные урановые месторождения протерозойского возраста [2] не проявляют характерных урановых и редкоземельных изотопных аномалий, свойственных для реакций ядерного деления, что позволяет предположить, что данный феномен имел место только в урановых месторождениях, сформированных на территории современного Габона. Особые геологические, физические и химические условия, необходимые для запуска и поддержания цепной ядерной реакции в естественной среде, были сформированы на территории аномалии. Другие богатые урановые рудные тела тоже имели достаточное количество урана для самоподдерживающейся цепной реакции деления в то время, но комбинация физических условий в была уникальной.

Целью данной работы является изучение и выявление минералогическо-геохимических особенностей руд месторождений урана типа Окло (Республика Габон).

Задачи исследования:

1. Провести всестороннее изучение ранее проведенных исследований;
2. Изучить геохимические особенности месторождений типа Окло;
3. Изучить минеральный состав образцов урановой руды месторождения Богомбо;

В результате работы описаны геологические особенности месторождений и их реакторных зон, проведены анализы с использованием различных методов, изучен минеральный состав и образцов урановой руды месторождения Богомбо, геохимические особенности реакторных зон..

Автор выражает благодарность профессору отделения геологии ИШПР НИ ТПУ, д.г.-м.н. Рихванову Л.П. за руководство, консультирование, ценные советы и помощь при проведении исследований и написании выпускной квалификационной работы.

## 1. Материалы и методы исследований

Материалом для проведения исследования являются пробы урановой руды месторождения Окло-Богомбе:



Рисунок 1. Урановая руда вне зоны реактора (ОКЛ)



Рисунок 2. Зона графитизации ниже реактора



Рисунок 3. Руда из зоны реактора



Рисунок 4. Руда из зоны хлоритизации

Для получения характеристики минерального состава и геохимических особенностей проб применялись следующие методы исследования:

- Минеральный состав определялся рентгеноструктурным методом с использованием дифрактометра D2 Phaser. Исследования проводились в научно-производственном центре «Урановая геология» 20 корпуса ТПУ.

- Для определения морфологических особенностей (форма, размер) и вещественного состава применили электронно-микроскопические методы исследования на сканирующем микроскопе Hitachi S-3400N



Рисунок 5. Эпоксидные шашки, подготовленные для изучения вещественного состава образцов руд.

## 2. Краткая характеристика района исследования

### 2.1 Краткий очерк района исследований

Республика Габон – государство в Центральной Африке. На западе омывается Атлантическим океаном, на юге и востоке граничит с Республикой Конго, на западе с Камеруном и Экваториальной Гвинеей. Столица – Либревиль. Официальный язык – французский.



Рисунок 6. Республика Габон [10]

Внутреннюю часть территории Габона занимают плоскогорья и горы (кряж Хрустальных гор высотой до 1000 м, южнее — массив Шайю, г. Ними — 1370 м). На крайнем востоке столовые плато (высота до 500 м) — водораздел рек Огове и Конго. Вдоль Атлантического побережья располагается низменность. Климат субэкваториальный, на севере — экваториальный; средняя температура апреля 25-27°C, июля 22-24°C. Осадков 1500-3000 мм в год. Главная река — Огове (судоходна от Порт-Жантиля до Нджоле). 75% территории Габона покрыто лесами с ценными породами деревьев [9].

С конца 1950-х годов в стране резко возросла добыча полезных ископаемых. В промышленности занято около 15% населения. Доля промышленности в ВВП около 57%. Ведущая экспортная отрасль экономики — нефтедобывающая промышленность, вторая по значению отрасль промышленности — горнодобывающая и лесозаготовительная. В 2015г около 70% от общего объёма экспорта приходилось на нефть, лес и лесоматериалы, марганцевую руду и урановые концентраты; импортировались машины и оборудование (28% общего объёма импорта), транспортного средства (20%), продовольствие (20%) и др [10].

## **2.2 Полезные ископаемые**

Важнейшие полезные ископаемые – марганцевые руды, нефть, природный горючий газ и уран. Страна обладает крупными запасами марганцевых руд; бóльшая их часть относится к месторождению Моанда (Мванда) на востоке с высоким качеством руд. Месторождения нефти и газа сосредоточены на шельфе (Раби-Кунга, Гронден, Гамба, Барбье, Ангий и др.) и в прибрежной полосе. Известны месторождения оловянных (Мимонго), ниобиевых (Мабунье), свинцово-цинковых руд; алмазов (Мицик), каменной и калийных солей, барита, талька, мрамора, природных строительных материалов [11].



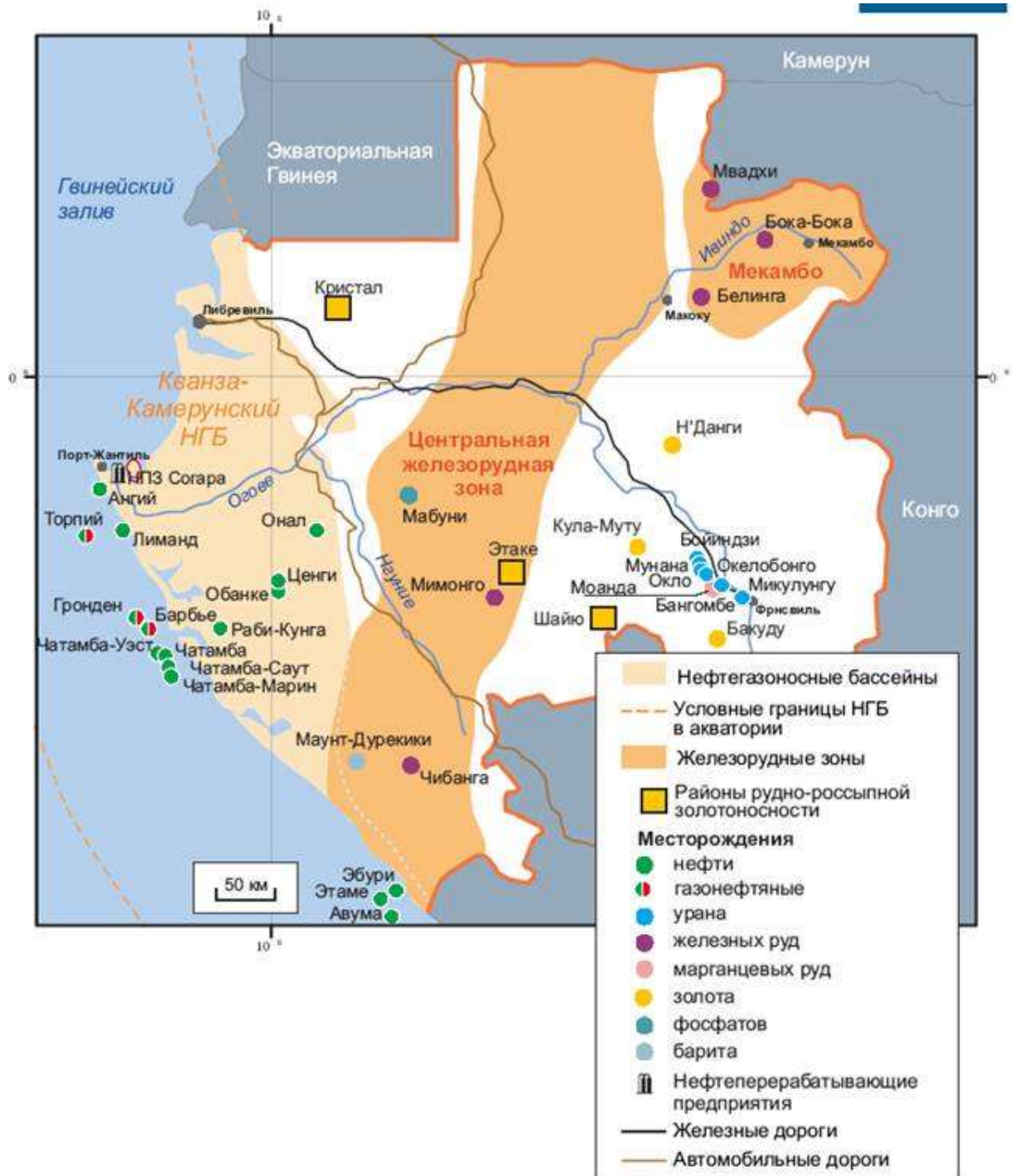


Рисунок 7. Месторождения Республики Габон, 1:5 000 000 [11]

Основные месторождения урановых руд (Мунана, Окло, Бойиндзи, Окелобондо) расположены в районе Мунана, в провинции Верхнее Огове, к северо-западу от г. Франсвиль, и приурочены к песчаникам и конгломератам нижних горизонтов среднепротерозойской системы Франсвиль.

Крутопадающее рудное тело месторождения Мунана мощностью 20-25 м прослежено до глубины 150 м.

Главный рудный минерал зоны окисления — франсвиллит, ниже — урановые черни и первичные руды (урановая смолка, коффинит). Содержание урана высокое и растёт с глубиной от 0,03 до 1-2% (среднее 0,4-0,6%). Месторождение Окло, расположено в 1,5 км от месторождения Мунана, и представлено рудным пластом мощностью 4-10 м, длиной 600-900 м и состоит из 6 рудных линз. Среднее содержание урана 0,4-0,5%, в отдельных линзах рудные минералы составляют 20-60%.

Добыча руд и использование урана в стране контролировались французской компанией "Compagnie Uranium Francais" ("COMUF", дочерняя фирма компании Areva). Основные районы добычи — месторождения Мунана и Окло; разработка велась подземным способом (Мунана с 1965, Окло с 1977). Продукция поступала также ещё с 2 месторождений. Действие компании на территории Республики преостановлено в 1999 году [11].

По поручению французской фирмы AREVA компания Géotech 9 марта 2009 года начала разведку урана в окрестностях Франсвилля, Моанды и Мунаны в провинции Габон-Верх-Огуэ, в 650 км к юго-востоку от Либревиля.

По данным подразделения AREVA в Мунане, исследования показывают, что в данном районе можно добыть около 26 000 тонн урана. Во время своего последнего визита в Моунану в январе 2009 года председатель правления AREVA Энн Лауверджон заявила, что для начала работы им необходимо не менее 30 000 тонн. На данный момент Areva ожидает возобновления добычи урана в Габоне.

### **2.3 Стратиграфия**

Породы Франсвилльской серии представлены в трех разных интракратонических бассейнах (рис.): Плато Абель, Франсвилльский и Ластурсвилльские бассейны. Эти бассейны представляют собой континентальную платформу бассейна Оконджа.

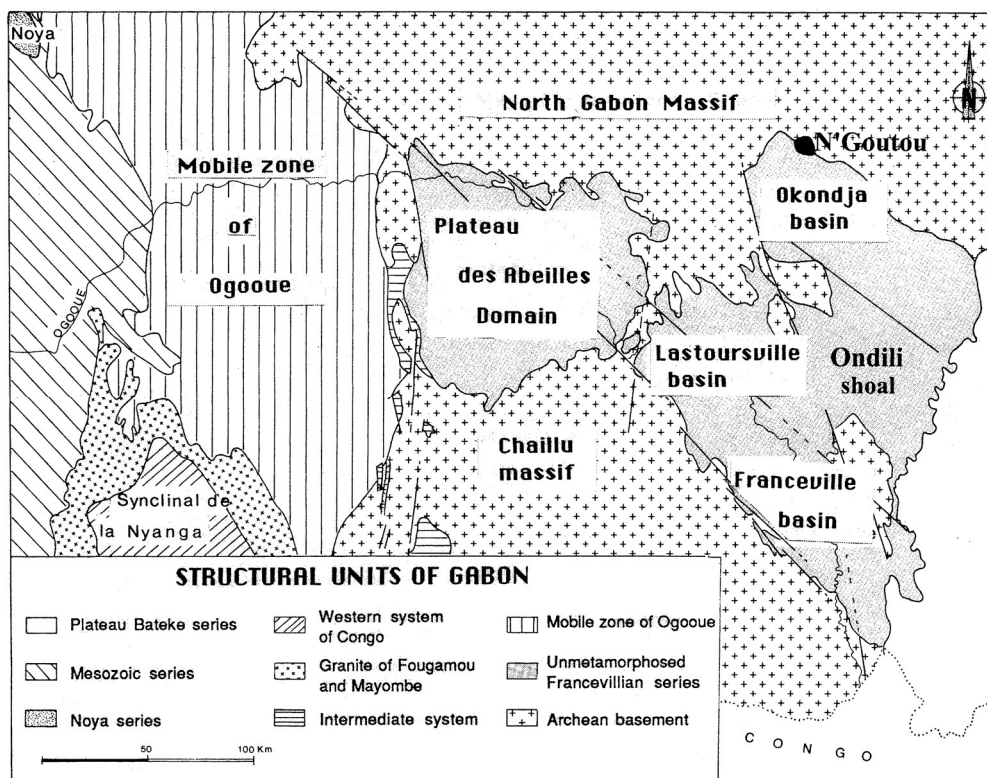


Рисунок 8. Схематическая структурная карта бассейна Франсвилль [13]

Нижняя формация бассейна Оконджа содержит основные вулканические породы (перидотиты, базальты, спилиты и базальтовый туф). [3]. Все разрабатываемые месторождения урана расположены в бассейне Франсвилль.

Стратиграфическая колонка бассейна Франсвилль составлена Вебером (1968)[3] и состоит из пяти формаций, названных снизу вверх: от FA к FE (рис. 2).

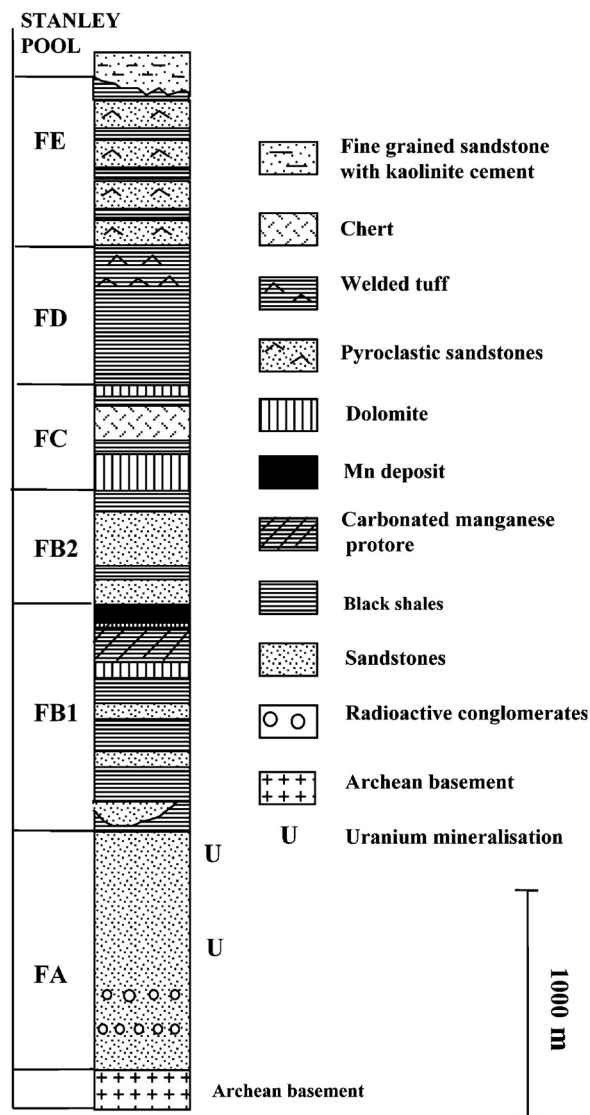


Рисунок 9. Стратиграфическая колонка Франсвилльской серии [3]

### Формация FA

Толщина этого пласта увеличивается от 100 до 1000 метров от края до центральной части бассейна; он содержит в себе все урановые месторождения района. Пласт состоит из конгломератов и крупнозернистых плохо отсортированных песчаников, перекрытых морскими песчаниками, отложенными береговой и суббереговой зоне. Крупно-, средне- и мелкозернистые осадки образуют ряды большой горизонтальной протяженности. Песчаники формации FA бассейна Франсвилль (Franceville) подвергались воздействию многих циклов эрозионного осаднения. Такие многоцикловые процессы позволили сформировать минеральные отложения

по типу флювиальных россыпей. В Окло минерализованные песчаники (самые верхние 10 метров формации FA) были отложены в приливной среде побережий, в которых грубые, хорошо отсортированные песчаники чередуются со слюдистыми, мелкозернистыми песчаниками [14].

Песчаники формации FA состоят в основном из кварца, мусковита, измененных биотитов и полевых шпатов (в основном микроклина), распространенных в нижних флювиальных песчаниках, но редко встречающихся в вышележащих слоях. Тяжелые минералы, такие как циркон, торит и монацит, широко распространены в конгломератах и крупных песчаниках.

Глинистые материалы состоят в основном из иллита. Древние детритные биотиты и тяжелые минералы, такие как монациты и цирконы, сильно изменены. Биотиты непрозрачны из-за появления мелких включений гематита и оксидов титана на их поверхности и в настоящее время имеют мусковитовый состав. Детритовые монациты превращаются в силикат Th-OH с очень низкими концентрациями U и REE, тогда как измененные цирконы показывают несколько зон, обогащенных REE, P, Th и U (с  $Th/U = 5 - 10$ ) [13]. Эти отложения красного цвета могут содержать доломит и сульфаты (ангидрит, гипс и барит) во флювиальных и приливных областях.

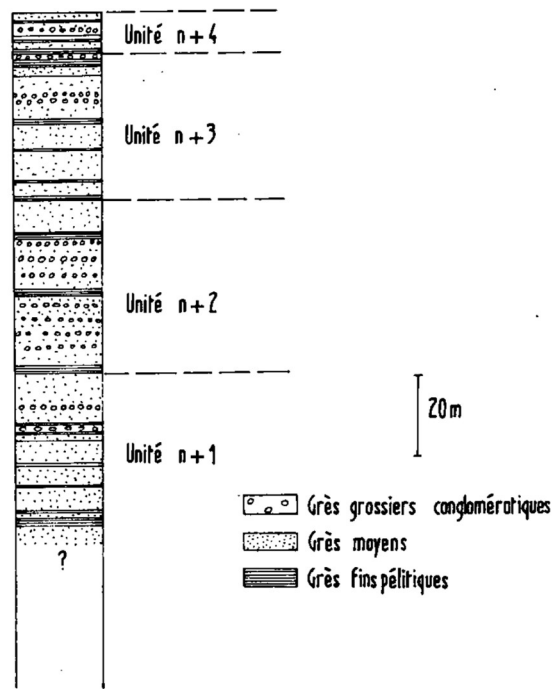


Рисунок 10. Стратиграфия фации FA [17]

Можно выделить несколько слоев снизу вверх:

- Слой n+1 характеризуется переслаиванием среднезернистых песчаников или средний и грубозернистых с тонкозернистыми песчаников с тенденцией к пелитизации; этот слой завершается в нижней части прослоем тонкий пелитизированных песчаников, являющихся важным стратиграфическим маркером.

- Слой N+2 характеризуется более монотонными песчаниками, фация средний-грубозернистых песчаников с периодической тенденцией к конгломератам. Характеризуется на разрезе как отрицательная, это говорит о допущении эволюции фаций от более тонких к более крупнозернистым. Этот прослой имеет мощность около 30м.

- Слой n+3 среднезернистые песчанники, достаточно монотонные, представлена также отрицательным характером. Этот слой завершается маломощным конгломератом галечника кварцита от 5 до 10мм в диаметре; Его мощность около 30м.

- Слой n+4 характеризуется переслаиванием прослоев тонкозернистого и крупнозернистого или даже конгломератов; мощность слоя от 4 до 10м.

Каждый из слоев начинается с толщи мелкозернистого песчаника, имеющего тенденцию к пелитизации и заканчивается песчаником более крупнозернистым [17].

Месторождение Окло это месторождение находящееся в осадочных породах где уран локализован в хорошо выделенных прослоях: он находится только в двух слоях перекрывающих песчаники FA, n+3 и n+4, последний обладает большей экономической ценностью.

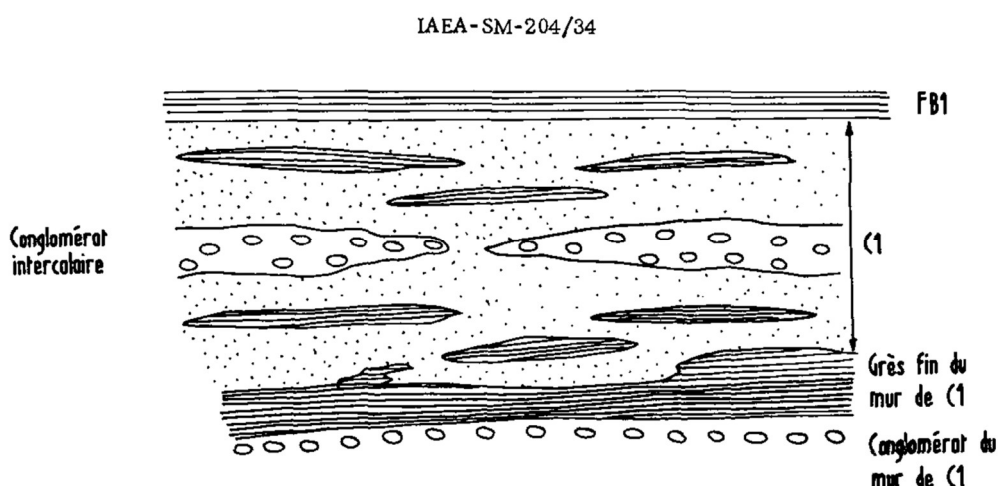


Рисунок 11. Слой C1 [17]

Этот прослой (n+4) представлен на рисунке выше.

- в верхней части конгломератов слоя n+3, «находится стена конгломератов C1». Свита осаждалась из тонких глинистых частиц и имеет различную мощность.

-минерализованный «прослой» также называется C1, и состоит из серии линзовидных конкреций песчаника различных размеров, сцепленных один с другим, как в потоке. Прослой расположен в средней части.

Уран расположен по сути в не пелитизированной фации в прослое C1, за исключение нижней части и кровли. В большинстве случаев, минерализация представлена микрокристаллической урановой смолкой, связанной с органическим цементом песчаников в прослое C1. Иногда уранинит замещает урановую смолку, в том числе в зоне реактора [17].

### Формация FB

После опускания бассейна FA, океан вторгся на большую часть территории. На северо-востоке бассейн Франсвиль был отделен от самого глубокого бассейна Оконджа, мелководьем Ондили.

Формация FB состоит в основном из черных сланцев, образующих блок толщиной 400-1000 метров. Черные сланцы характеризуются значительными концентрациями органического вещества [4] (Gauthier-Lafaye and Weber, 1989). Осаждение этих черных сланцев могло происходить приблизительно между 1,9 и 2,05 млрд. лет. Это событие связано со взрывом развития микроорганизмов и последующим отложением строматолитов [15].

Реликтовыми минералами, встречающимися в черных сланцах, являются в основном кварц, полевые шпаты, мусковит и биотит. Матрица состоит в основном из органического вещества [5, глины (иллит и хлорит), Ca, Mg, Fe и Mn-карбонаты и пирит. Fe-карбонаты и пирит чаще встречаются у основания и в середине пласта. В некоторых газированных слоях толщиной 5 - 10 м содержание железа может достигать 40% и образовывать залежи железа.

Содержание урана в сланцах FB варьируется от 3,5 г/т (в среднем 48 образцов в Gauthier-Lafaye, 1986) [4] до 10,8. Эти значения являются достаточно низкими по сравнению с черными сланцами из разных бассейнов, которые имеют среднее содержание урана 30 г/т, и со стандартным девонским сланцем USGS, в котором содержание урана составляет 48,8 г/т.

Формация FB1 имеет более исключительные характеристики:



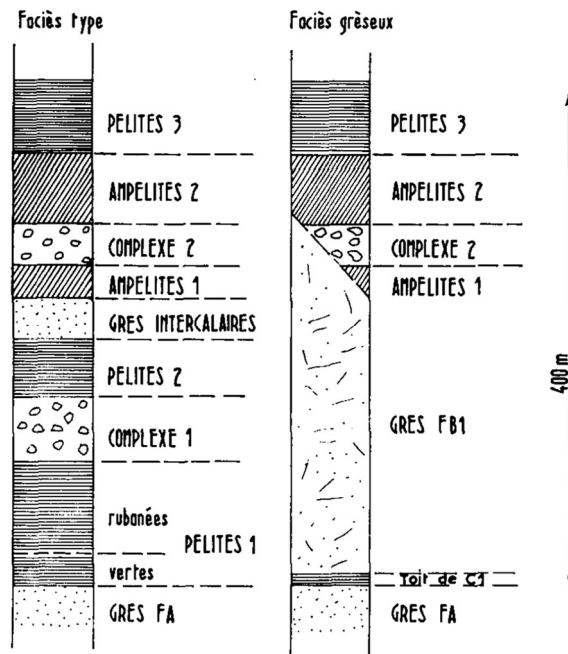


Рисунок 12. Стратиграфия фации FB1 [17]

Здесь выделяют:

-Пелиты 1: речь идет о формации пелитов по мощности разделенных на зеленые пелиты в нижней части и черные полосчатые пелиты в верхней части;

-Комплекс 1: Формация брекчированная, сформированная пелитами, песчаниками и блоками доломита, без выраженной стратификации; этот комплекс часто изменен до охристой глины за счет циркуляции обогащенной кислородом воды.

-Пелиты 2: Такие же полосчатые черные пелиты как в слое пелиты 1.

-Промежуточные песчаники: эта свита сформирована ясновыраженными песчаниками иногда имеющими тенденцию к конгломератам, часто крупнозернистые, без пелитизированных промежутков. Они похожи на крупнозернистые песчаники формации FA и сформированные потоками в слое пелит 2.

-Углистые сланцы 1 (ампелиты): это пелиты очень богатые органическим углеродистым материалом и сульфидами вроде пирита.

-Комплекс 2: Слой схожий с комплексом 1, но здесь ампелиты переслаиваются с пелитами.

-Углистые сланцы 2: Аналогичные углестым сланцам 1, но более мощные.

-Пелиты 3: Пелиты полосчатые черные, содержат большое количество углерода, слой монотонный и имеет большую мощность.

Большая часть этих прослоев была эродировала, была размыва, их мощность также очень варьируется. Региональная известная мощность в Окло может достигать до 400м. Помимо этого в северной части Окло, где расположен ископаемый ядерный реактор, формация FB1 представлена фацией более интересной. Пограничный угол падения 1, комплекс 1, пелиты 2 и часть ампелитов разрушены мощным потоком песчаника. Речь идет о крупнозернистых песчаниках в конгломератах, включающих обломки пелитов и линзообразных глинистых конкреций. В зоне реакции, эти песчаники продолжили существовать только в нижней части слоя пелит 1 и получили название «кровля C1» [17].

### **Формация FC**

Пласт толщиной 10-40 м состоит в основном из массивного доломита. Строматолиты вместе с органической материей хорошо развиты. Доломиты возникли в результате доломитизации и силицирования предыдущих кальцитовых или Mg-кальцитовых строматолитов. В центральной части бассейна Франсвилль блок FC встречается после черных сланцев FB и соответствует эпизоду квазиэмерсинга, которому предшествует морской литоральный блок, представленный полосами песчаных отмелей длиной в километры (FB2a).

### **Формации FD - FE**

Формация FD состоит из черных сланцев с доминирующим игнимбритовым туфом в верхней части. Формация FE состоит из эпикластических песчаников и прослоев сланцев. Породы FD–FE имеют толщину более 1000 м в бассейне Franceville.

В формациях FD–FE бассейна Franceville черные сланцы остаются доминирующими отложениями, но, в отличие от формации FB, они не

содержат скоплений Mn. Однако обогащение Cu происходит на дне формации FD. Это связано с изменением вулканической активности, более кислой средой по сравнению с основным вулканизмом в формации FB. Эта эволюция связана с возникновением двух основных фаз, влияющих на кратон Архейского Конго-Сан-Франциско: (1) открытие бассейна Франсвиль во время осаднения FA и FB в доокеанских условиях, и (2) раскрытие внутриконтинентального разлома во время осаднения вышележащих образований.

#### **2.4 Тектоника и магматизм**

В тектоническом отношении Габон расположен на северо-западной окраине раннедокембрийского Центральноафриканского (Конго) кратона. Архейский фундамент кратона составляет северную часть страны и образован кварцитами, амфиболитами, кристаллическими сланцами (возраст 3,1–2,8 млрд. лет). В восточной части Габона фундамент кратона перекрыт слабометаморфизованными глинистыми отложениями (в т. ч. чёрными сланцами) мощностью 400–1000 м (возраст 2,1 млрд. лет), заполняющими раннепротерозойскую впадину Франсвиль. К югу от реки Огове находится огромный гранитоидный батолит Шайю (возраст 2,5 млрд. лет). На западный край батолита Шайю и впадину Франсвиль надвинут складчато-покровный пояс Огове, сложенный раннепротерозойскими вулканогенно-осадочными породами, а также архейскими зеленокаменными комплексами. С юга на территорию страны заходит позднепротерозойская Западно-Конголезская складчатая система, в строении которой принимают участие карбонатно-терригенные отложения с горизонтами тиллитов, залегающие на комплексах нижнего и среднего протерозоя. Вдоль атлантического побережья протягивается прогиб, заполненный мезозойско-кайнозойскими отложениями мощностью 10–11 км. Прогиб вмещает соленосные толщи мелового (аптского) возраста мощностью 150–200 м. Проявилась соляная тектоника с образованием купольных структур [4].

Интрузии щелочных пород, комплекс N'Goutou, проходит на краю бассейна Оканджа. N'goutou вулканический комплекс датирован Rb-Sr методом в сиенитах и пегматитах и дает возраст 2,14 млрд. лет.

Более поздние дайки долеритов вторглись в общий франциллианский ряд в бассейне Франсвиль, образовав две ортогональные системы, ориентированные на NNW-SSE и ENE-WSW. Эти долериты были датированы методом K-Ar на полевошпатных фракциях с возрастом 970-930 млн. лет.

В бассейне Франсвиль выделяются зоны складчатости. Максимальная деформация возникает в породах, затронутых синдиментарными разломами, активированными во время более позднего тектонического эпизода сжатия. В бассейне Оканджа деформации более интенсивны, а последовательность слабо выражена. После этого бассейн оставался удивительно стабильным до недавнего подъема, что привело к его эрозии при нынешнем режиме выветривания.

### 3. Геологическое строение

#### 3.1 Геологическое строение месторождений Окло-Богомбе (Республика Габон)

Что касается геологического строения, месторождение расположено на окраине юго-западной части осадочного бассейна Франсевиль, возле восточной границы поднятия фундамента представленного гранито-гнейсами, выраженного в рельефе в виде купола Монана.

Тектоника и геометрия месторождения зависит от поднятия фундамента.

Краевая часть представлена депрессией, состоящей из системы комплекса когерентных разломов имеющий направление практически с севера на юг. Эти разломы называются фундаментными разломами (*failles-socle*) и разделяют фундамент, представленный гранито-гнейсами, осадочными породами франсвилльских формаций FA и FB1. Падение системы разломой очень крутое (от 70 до 80°). Вертикальное движение двух блоков сопровождалось опрокидыванием осадочных пластов к востоку, позволив также появиться, в первом приближении, моноклину с углом падения 45° на восток.

На месторождении выделяются два типа руд: песчаники и конгломераты, обогащенные органическим веществом (содержат коффинит и настуран в ассоциации с галенитом, халькопиритом, пиритом), и хлоритовые аргиллиты с уранинитом и галенитом. Руды второго типа развиты только в зонах "природных реакторов", значительно обеднены  $U^{235}$ . Это явление, получившее название "феномен Окло", объясняется выгоранием  $U^{235}$  в процессе работы "природного ядерного реактора" около 1,95 млрд. лет назад. Запасы урана 15 тысяч т (в пересчёте на металл), содержание урана в рудах в среднем 0,4-0,5%, в отдельных участках (зоны "реакторов") 25-60% [5].

Реакторы находятся в урановых отложениях, расположенных в бассейне Франсвилль. Абсолютный возраст всех этих разнородных геологических формаций: Около 2,7 - 2,8 для архейского фундамента, 2,143 для

вулканической структуры, которая находится внутри отложений в Франсвилле, и поэтому она считается возрастом осадочного материала и 1,95 для ядерного реактора [13].

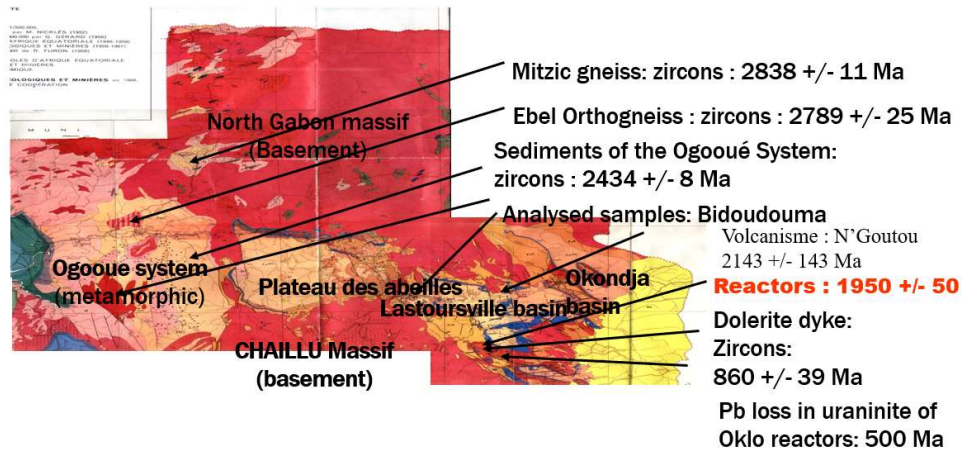


Рисунок 14. Абсолютный возраст бассейна Франсвилль [13]

Пятнадцать реакторов расположены на месторождении Окло-Окелобондо, а одно - на небольшом месторождении Бангомбе, которое находится в 30 км от Окло-Окелобондо. Реактор Vangombe' расположен очень близко к поверхности (на глубине 12 м для реакторов Vangombe' и 100-260 м для реакторов Oklo-Okelobondo) и поэтому подвержен атмосферным воздействиям гораздо больше, чем другие.

Типичный реактор показан на рисунке (реактор 9). Размер реакторов довольно разнообразен. Самый большой реактор (реактор 2) представляет собой линзу длиной 12 м, глубиной 18 м и толщиной 20 - 50 см. В Бангомбе реактор имеет длину всего 5 м, ширину 1 м и толщину несколько сантиметров, но недавние погодные условия разрушили большую часть этого реактора.

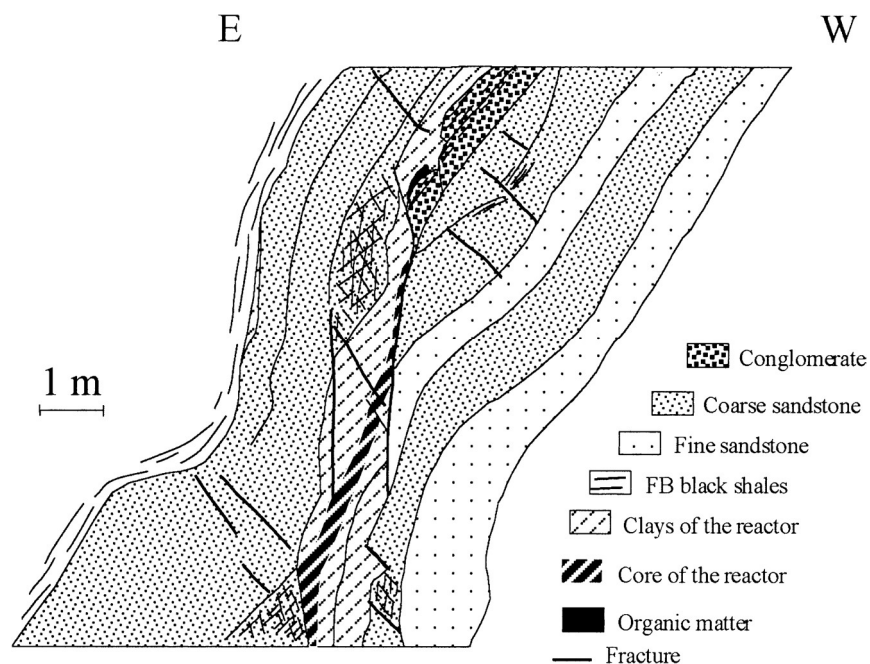


Рисунок 15. Реактор 9 (150м), урановое месторождение Окло [13]

Ядра реактора состоят из слоя уранинита толщиной 5 - 20 см, заключенного в глины (иллит и хлориты). Содержание урана в сердечнике составляет от 40 до 60%. Акцессорные минералы в основном сульфиды (пирит и галенит), гематит и фосфаты (в основном, гидроксиапатит). Глинистые минералы отражают температурный градиент во время работы реакторов [6], где Mg-хлорит и 2M1-иллит расположены близко к ядру, а 1M-иллит и Fe-хлорит по краю.

### 3.2 Морфология рудных тел и особенности локализации реакторов

Рудный прослой перекрывается фацией пелитов и четко очерчен моноклином имеющим падение на восток. Он имеет сложную локализацию из-за тектоники простирающейся с севера на юг. Вариативность минерализации связана с феноменом осадконакопления, который наслаивается на последующую тектонику и факторы обогащения.

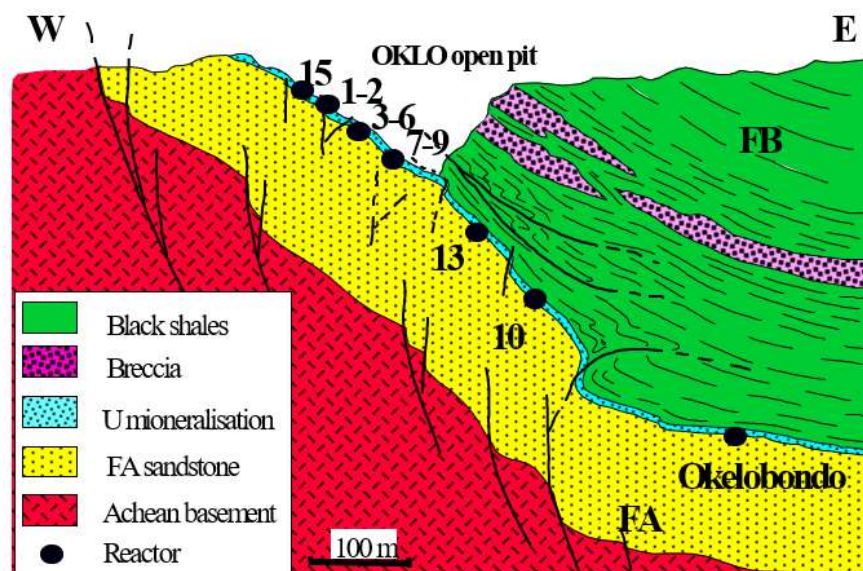


Рисунок 16. Расположение реакторов в рудных телах месторождения [1]

Рудные тела, в которых происходила цепная реакция, представляют собой залегающие в пористом песчанике линзовидные образования из уранинита ( $UO_2$ ) диаметром порядка 10м и толщиной от 20 до 90 см; содержание урана в них составляло от 20 до 80 % (по массе).

Идентифицированы 16 индивидуальных реакторов в трёх различных частях месторождения: в Окло, Окедобондо (Okelobondo, 1,6 км от Окло) и в Бангомбе (Bangombe, 20 км к югу от Окло). Все 16 рудных телобъединяют под общим названием «Природный ядерный реактор Окло». Краткое описание различных зон реактора [5]:

Зоны реакторов с номерами 1-9 были изучены в рамках проекта Franceville, после отбора проб отработаны. Зона реактор 15 была отработана до начала исследовательских проектов проектов ЕС. Органическое вещество было в избытке в реакторных зонах с 7 по 9.

Реакторные зоны 11, 12 и 14 не были подтверждены после разведки в ходе разведочных работ.

Реактор 10 был одним из наиболее изученных реакторов. Он имеет форму линзы шириной 15 м и длиной 30 м. В реакторе и вокруг него много органического вещества. Ядро реактора и глинистая «рубашка» хорошо



развиты, верх реактора разрушен. В глинах были обнаружены кристаллы апатита.

Реактор 13 расположен очень близко к долеритовой дайке (15 м). Внедрение долерита сильно нарушило работу активной зоны реактора и привело к важной мобилизации основных и второстепенных элементов (серы, свинца, мышьяка). Это небольшая часть зона реактора (ширина 6 м и длина 15 м).

Реактор 16 был последним обнаруженным реактором в Окло:

Реактор ОК84 был обнаружен на площадке Окелобондо, в южной части шахты Окло, в более глубокой ее части. Органическое вещество было найдено в больших количествах внутри и вокруг реактора..

Все реакторы Окло-Окелобондо были разработаны или более не доступны, так как карьеры и подземные шахты были затоплены. Реактор Bangombe', который является самым маленьким, был сохранен вместе с его урановым месторождением для дальнейших научных исследований поведения продуктов деления и актинидов в геологической среде [13].

### 3.3 Взгляды на генезис месторождения

#### **Инфильтрация:**

Источником урана в растворе являются породы кристаллического фундамента и вулканогенно-осадочные отложения повторяющиеся в проницаемых песчаниках, являющихся концентратором. Повышенная концентрация урана объясняется благоприятными условиями, такими как: восстановительная среда, наличие породы коллектора, ловушки осадочные или тектонические.

В Окло, вариативность и мощность прослоя С1 похоже демонстрирует достоверные границы минерализации. Эта вариативность связана с условиями осадконакопления прослоя. По оценкам, полученным в результате исследований, в период осадконакопления, данный ландшафт, находящийся на границе бассейна, был более или менее заболоченным. Приходящие с юго-запада потоки, с зоны выхода фундамента, были частью морского бассейна. Они также приносили песок, который перераспределившись образовал линзы и сконцентрировался в формации прослоя С1. Мощность данного прослоя варьируется в зависимости от направлений потоков, формируя мощный «барьер», отделяющий более скудную зону (Рис. 11). Уран локализуется предпочтительно в периферийной части барьера. Окло, впрочем, является частью обширного комплекса барьеров регионального масштаба. Распределение барьеров С1 зависит от распределения осадконакопления в предшествующие эпохи, смещение наблюдается с каждым новым наносом.

Помимо вариативности и мощности данных осадочных пород, от приходящих потоков зависит также сопровождающая вариативность типов отложений (фаций). Учитывая, что их разведка в тектонической зоне относительно спокойная в Окло вне складки (речь о отсутствии содержания урана выше фонового уровня за пределами складки), можно отметить, что может существовать некоторая корреляция между богатейшими зонами минерализации и количеством переслаиваемых прослоев тонких и

грубозернистых песчаников. Таким образом, очень обобщенно, можно выделить 3 основных типа пород:

- На юго-западе, зона привноса представлена мощным прослоем С1 со средой близкой к пресноводной, континентальной и недостаточно восстановительной для высокой концентрации.

- На западе и востоке месторождения, породы периферии барьера могут быть сопоставимы с пляжными. Выступающие из воды породы менее многочисленные, менее мощные, также здесь наблюдается восстановительная среда, что сопровождается богатой минерализацией.

- В зоне более глубоких прослоев, на переслаивания редки и минерализация значительно менее выражена.

#### **Реакторные зоны и тектоника:**

Статистические исследования говорят, что наиболее богатый прослой сформирован за счет тектоники. Диаграмма схематически демонстрирует вариативность богатейших прослоев в связи с углом падения.

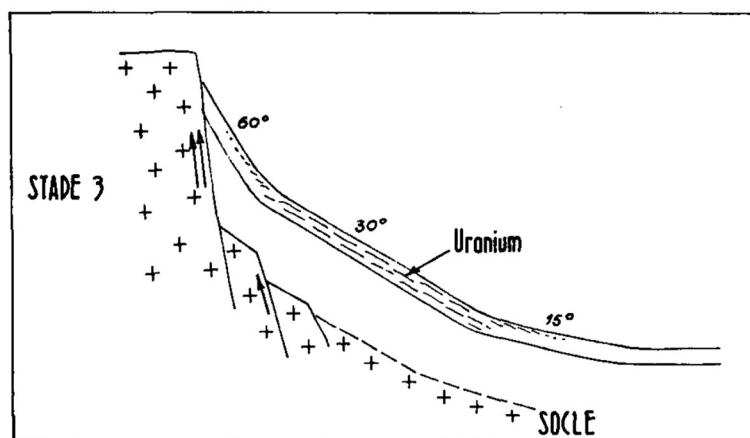
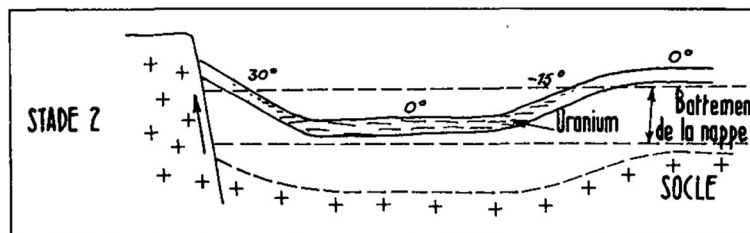
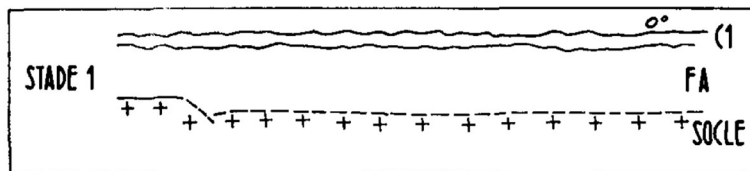
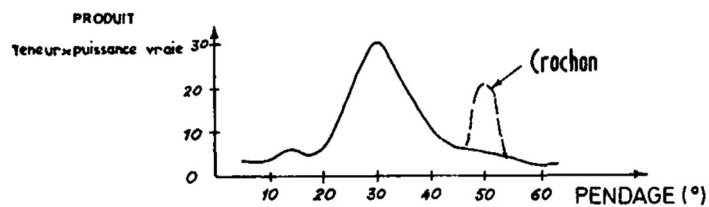


Рисунок 17. Схема формирования месторождения [17].

Менее важный пик соответствует скважинам расположенным в тектонической зоне определенной складкой. Если исключить этот пик, можно обнаружить, что богатейшие содержания максимально соответствуют соседней зоне подения около 30 градусов. Это может объясняться следующим образом:

- на стадии 1, осадконакопление прослая с различной мощностью и типом отложений. Свита является субгоризонтальной.

- на стадии 2, после осадконакопления нижней части зоны FB1, происходит поднятие фундамента. Западная часть природнялась, приняв угол падения 30 градусов, центральная опустилась, и часть её приняла угол падения

около 15 градусов. В эту эпоху урановые граниты стали поставщиками минерализации: данный источник минерализации является более распространённым в обогащенных прослоях коллекторах (принимающая сторона). Есть так же снижение минерализации в боковых частях синклинали.

- Стадия 3, проявилось новое тектоническое поднятие. Угол падения с 30 до 60 градусов на западе и от 0 до 30 ближе к центральной части минерализации, в 15 градусов на западе и 15 градусов на востоке уран остается в нескольких ископаемых породах.

Тектонические движения приходящие с севера в более поздний период, смогли нарушить структуру локализации минерализации, создав обогащение в зоне складки и уменьшив содержания в зоне крутопадающего пласта.

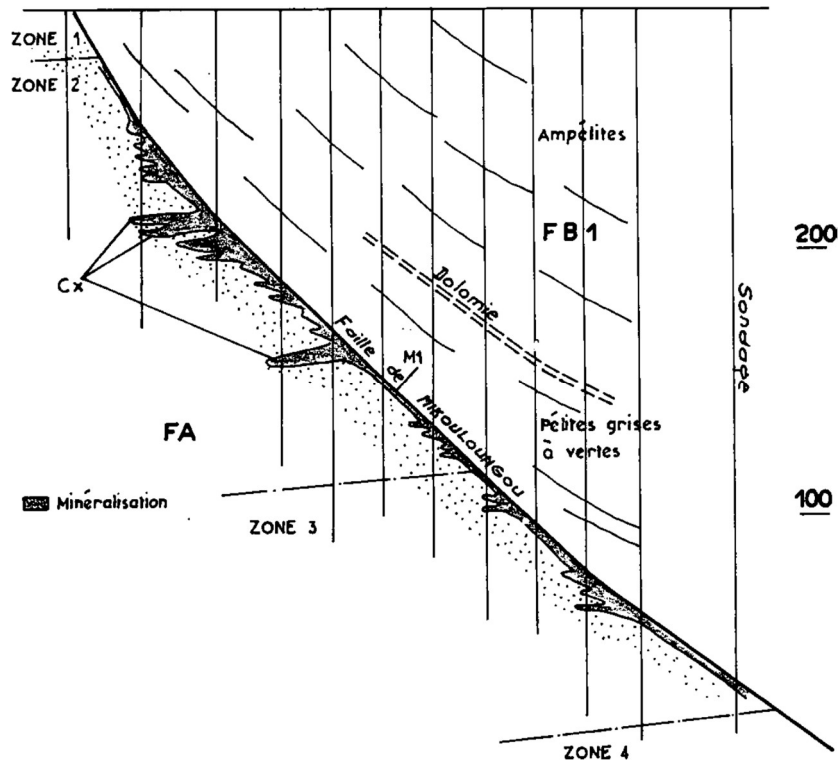


Рисунок 18. Разрез месторождения Oklo 13]

## 4. Минералого-геохимические особенности месторождений типа Окло (Республика Габон)

### 4.1 Минералогические особенности

В середине 1972 года сотрудники КАЭ Франции обнаружили уникальное месторождение урана в Габоне с резко нарушенным содержанием изотопа  $U^{235}$  [1,]. Это открытие привлекло внимание ученых всего мира самых различных специальностей.

В начале 1975 года в ГКИАЭ СССР были переданы на исследование 10 образцов проб урановой руды месторождения "Окло" [18].

Полученные на исследование образцы порошковых проб резко различаются по содержанию в них общего урана и соответствуют приведенному на рис.1 разрезу, который позволяет отнести пробы 1410, 1414, 1418 к зоне реакции, а остальные - к зоне загрязнения.

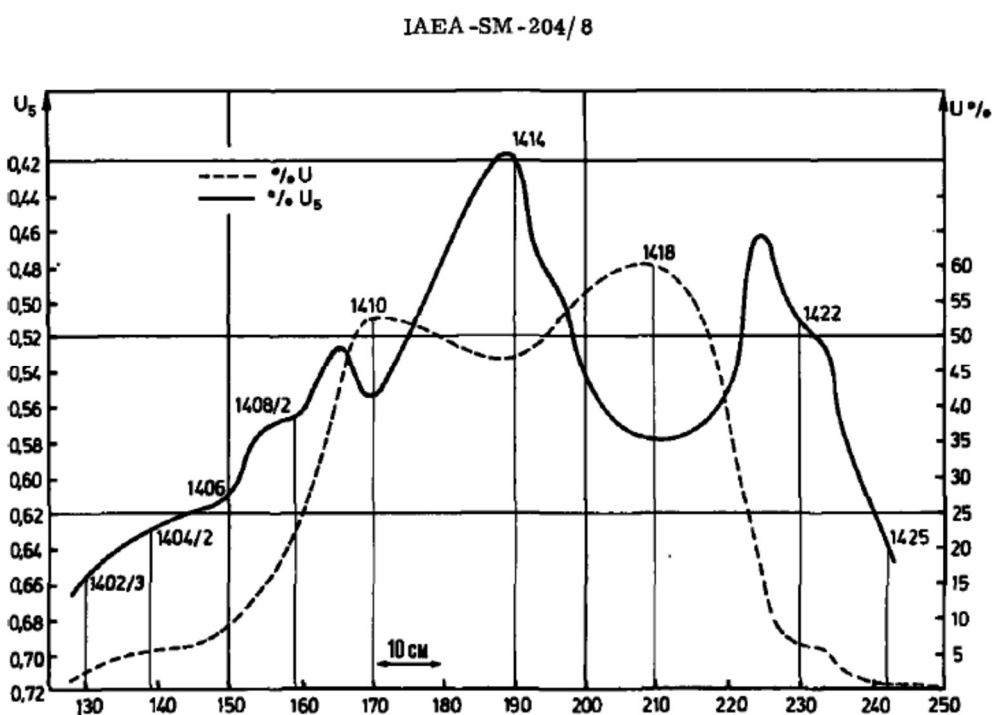


Рисунок 19. Схема отбора проб [18]

В согласии с этими данными находятся результаты минералогических исследований, показавших, что при микроскопическом изучении в псевдокристаллах уранинита из "зоны смещения" (обр.1404/2, 1408/2) устанавливается не менее четырех фаз (рис.3), отличающихся по отражению и

устойчивости к травлению, причем три из них рентгенографически диагностированы как кубические с решеткой двуокиси урана. Рентгенографически в гетерогенных зернах уранинита определены окислы урана. Естественно, все они отличаются и по отношению O: U. Окисел урана  $(U, Pb)O_{2+x}$  установлен в образце 1404/2 и в образце 1408.

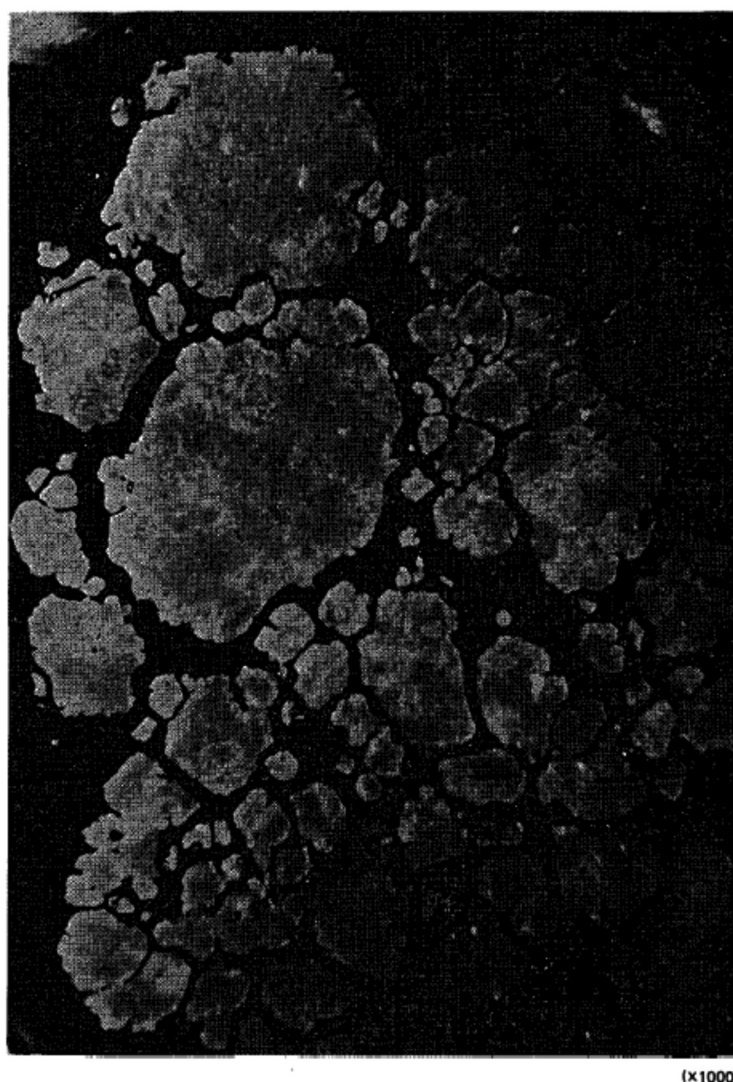
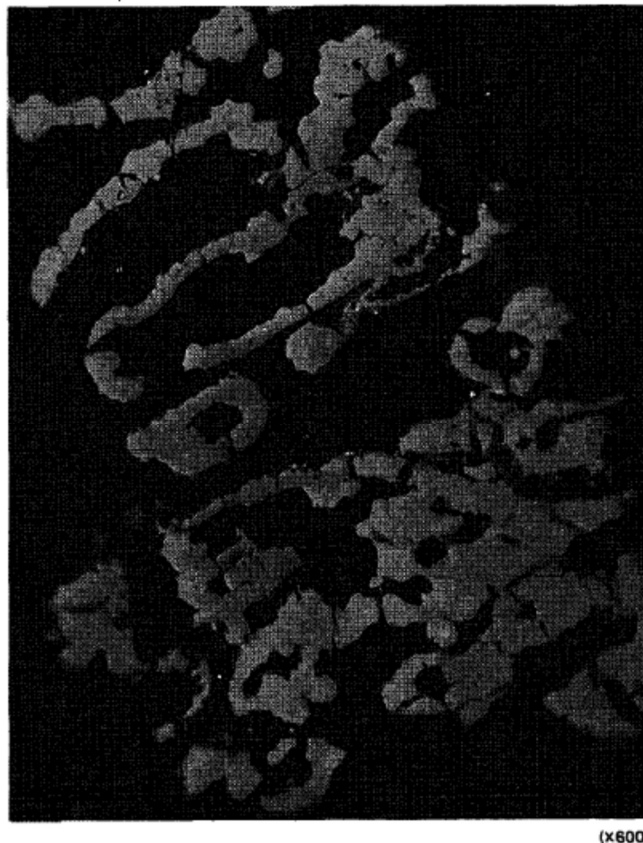


Рисунок 20. Многофазные псевдокристаллы уранинита. Отчетливо выделяется фаза с различным отражением и мелкие точечные включения галенита (белые). Контрастность отражения резко увеличена за счет микросъемки с зеленым светофильтром и специальной печати. Образец 1408/2 [18].



(x600)

Рисунок 21. Настуран (серый) с галенитом (на фото - белые точки) и с разложившимся поздним коффинитом (темносерый) в хлорит-серицитовом агрегате. Микрофото аншлифа. Образец 1408 [18].

Предполагается [19], что такие окислы могут быть аналогами гипотетического окисла  $(U, Pb)_4O_{7\pm x}$ . Окисел с близким параметром решетки установлен в метасоматическом железоурановом месторождении, также имеющем возраст около  $1800 \cdot 10^6$  лет. Можно думать, что на месторождении "Окло" окисел  $(U, Pb)O_{2+x}$  принадлежит реликтам самого древнего уранинита, кристаллическая решетка которого "растянута" радиогенным свинцом за счет "принудительного изоморфизма".

При выходе свинца из кристаллической решетки уранинита и образования галенита размеры элементарной ячейки могут несколько уменьшиться. Минераграфически и под электронным микроскопом обнаруживаются участки с тончайшей вкрапленностью галенита с радиогенным свинцом, а также участки с необычной структурой изменения



(рис.4), возможно, соответствующие обнаруженной ранее фазе, богатой кальцием.

Оксид урана  $(U, Pb)O_{2+x}$  установлен в гетерогенных зонах в образце 1404 и образце 1408. Вместе с тем в порошках (образцы 1410, 1414, 1418) — это единственный фиксируемый рентгеновскими методами оксид урана. Дифрактометрический анализ показал ступенчато расширенные "зубчатые" пики, свидетельствующие о наличии в пробе нескольких фаз оксидов урана с близкими параметрами решетки. По интенсивности отражений оксид мало отличается от настурана с  $a_0 = 5,43 \text{ \AA}$  из гидротермальных жил [18].

Оксид  $(U, Pb)O_{2+x}$  по крайней мере на порядок моложе древнего уранинита: исследование продуктов прокаливании пробы 1418 на воздухе и в водороде показало, что в кристаллической решетке содержится небольшое количество свинца, так как параметр кристаллической решетки падает с  $5,435 \text{ \AA}$  до  $5,420 \text{ \AA}$  при  $400^\circ\text{C}$  и  $600^\circ\text{C}$ , а при  $800^\circ\text{C}$  образуется закись-окись без примеси ураната свинца.

Фаза  $(U, Pb)O_{2+x}$  в уранинитах из "Окло" образует внешние зоны псевдокристаллов и, возможно, настуран, обнаруженный в обр.1408, также принадлежит этой фазе.

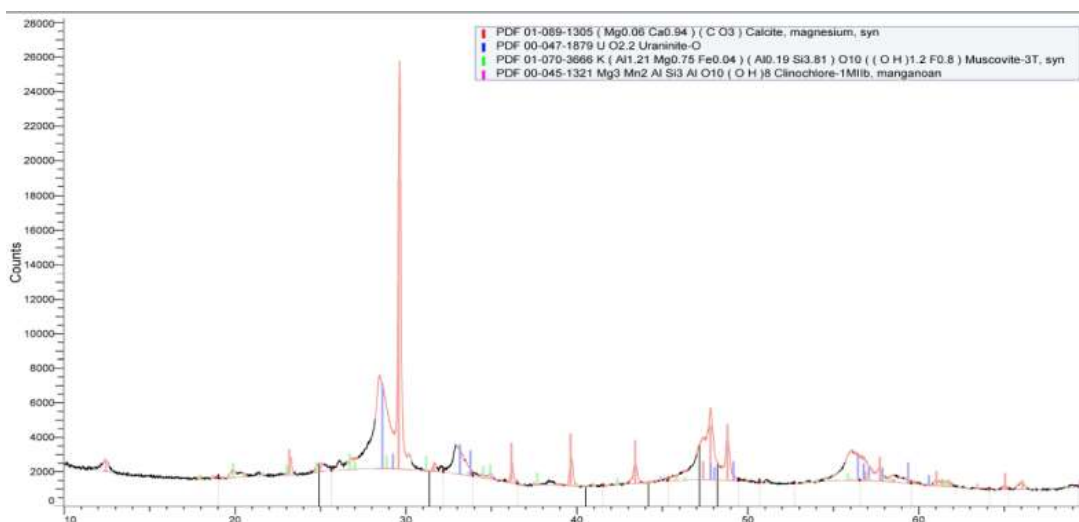
Псевдоморфозы по коффиниту с эмульсионной вкрапленностью фазы  $UO_{2,6}$  можно идентифицировать с поздним настураном из настуран-битумных руд (образцов из таких руд в нашем распоряжении не было), где он также рассматривается [18] как продукт замещения коффинита.

Минераграфически и дифрактометрически устанавливается более поздний, сохранивший свою кристаллическую решетку, коффинит. Согласно ориентировочным расчетам, коффинит сохраняет свою решетку около  $8 \cdot 10^6$  лет и является таким образом показателем молодой минерализации.

### 4.1.1 Результаты РФА

Помимо изучения материалов ранее проведенных исследований, выполнен рентгенофазовый анализ нескольких проб урановой руды месторождения Богомбе (ОКЛ 1-1, ОКЛ 1-2, ОКН 1, ОКН 2, ОКВ).

Проба ОКЛ 1-1 содержит уранинит, кальцит, иллит и клинохлор - глинистые минералы, в которые были заключены уранинитовые сердечники реакторов.



ОКЛ 1-1 (урановая руда вне зоны реактора)

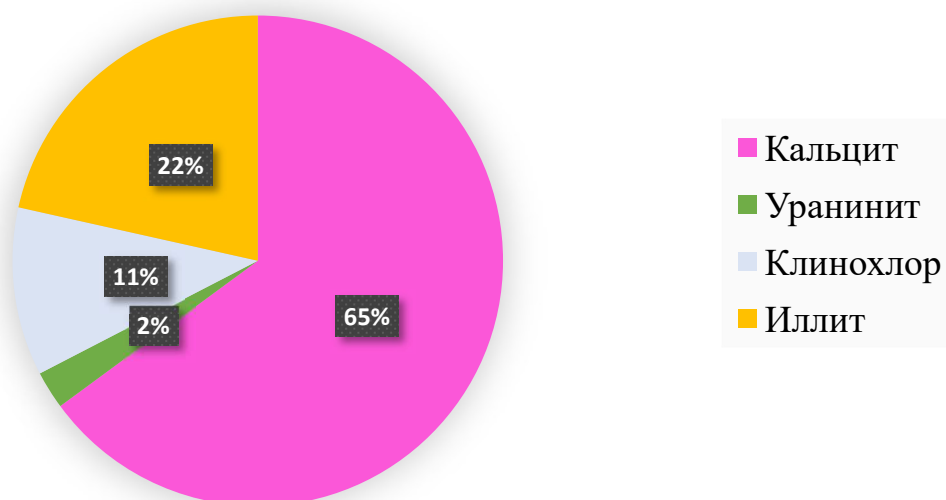
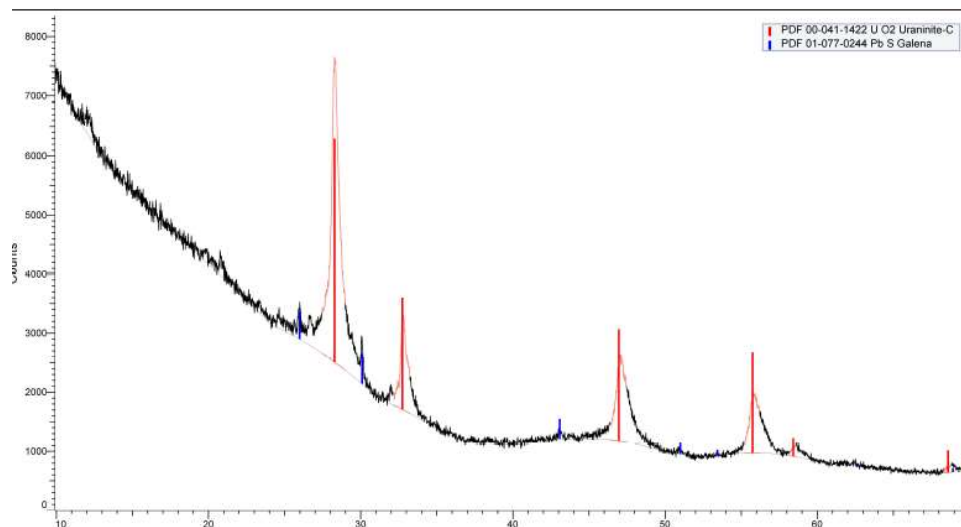
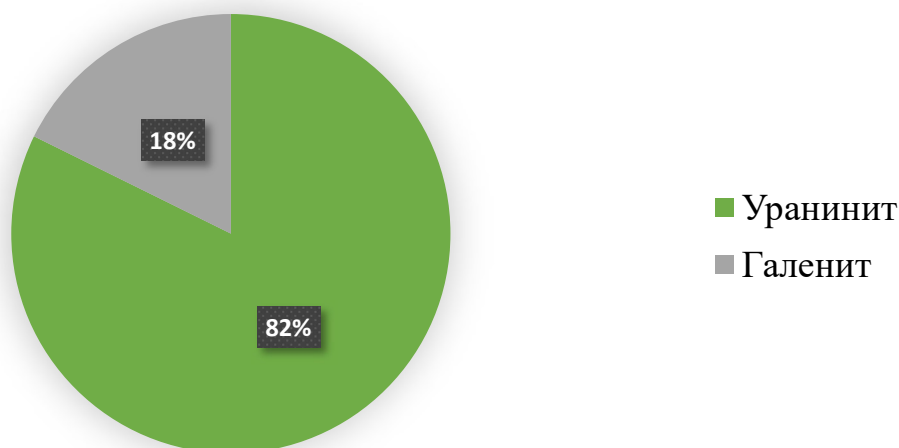


Рисунок 21. Результаты РФА (ОКЛ 1-1)

Проба ОКЛ 1-2 содержит уранинит и галенит – акцессорный минерал для месторождений типа Окло. Галенит выделялся ранее в виде небольших включений в зоне реактора . Вероятнее всего галенит образован благодаря взаимодействию  $Pb^{206}$  и разрушающихся сульфидов вмещающих пород.

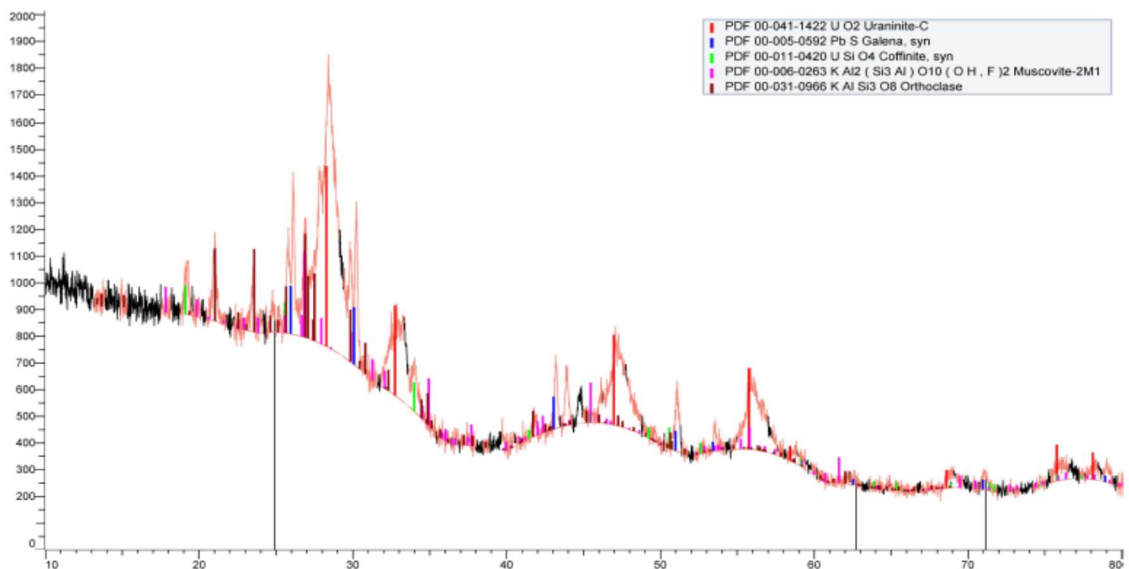


**ОКЛ 1-2(урановая руда вне зоны реактора)**



**Рисунок 22. Результаты РФА (ОКЛ 1-2)**

ОКН 1 (зона околорудных изменений) характеризуется такими минералами как иллит, ортоклаз, уранинит, коффинит и галенит.



### ОКН 1 (зона околорудных изменений)

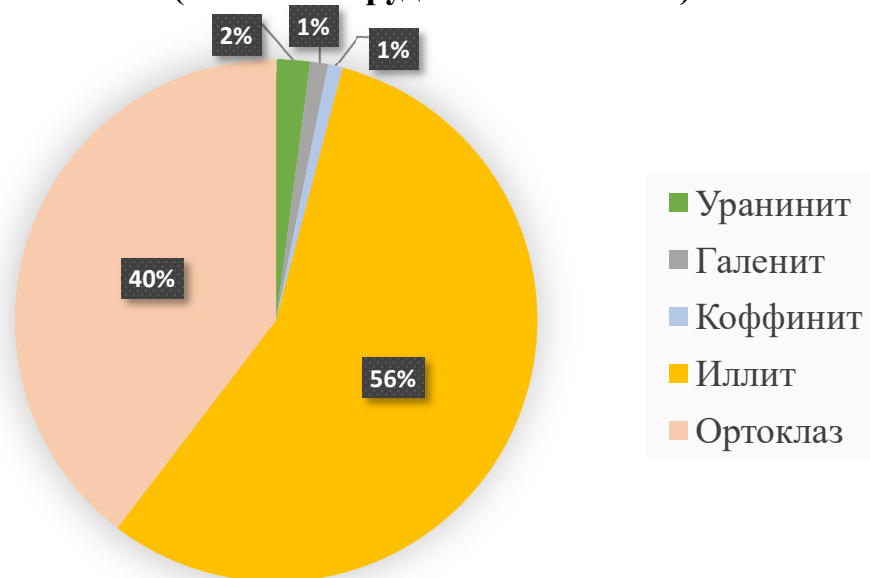
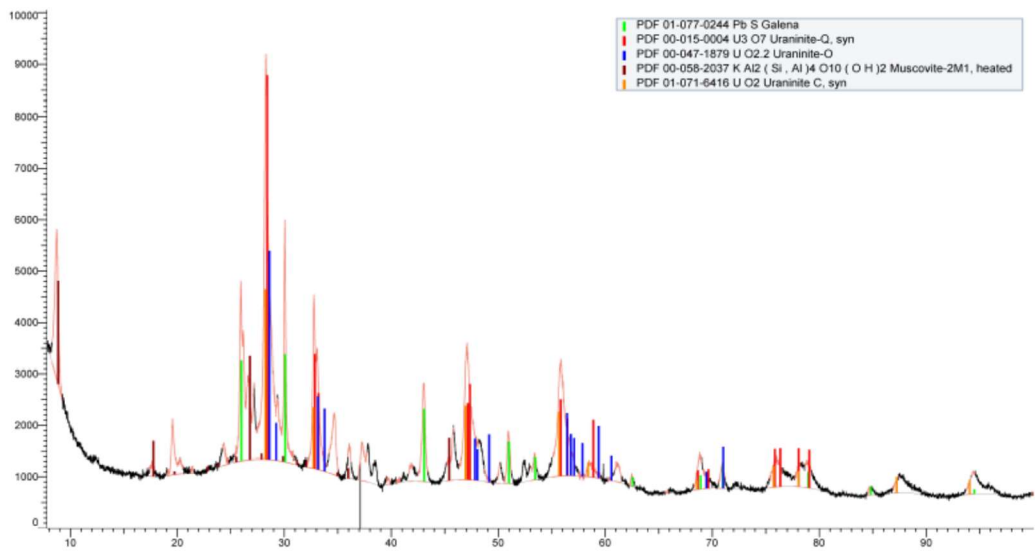


Рисунок 23. Результаты РФА (ОКН 1)

ОКН2 (Руда зоны реактора).

Помимо типичных для месторождения минералов, в зоне ОКН2 выделяются 2 разновидности синтетического уранинита, типичных продуктов ядерных реакций. Обнаружение данных разновидностей, может являться свидетельством процессов деления в зоне реактора.



**ОКН 2 (руда из зоны реактора)**

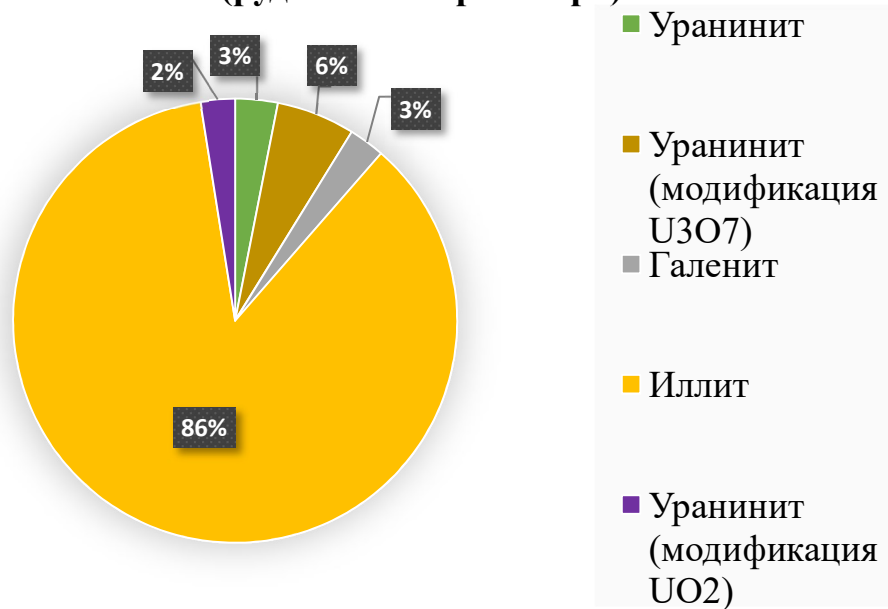
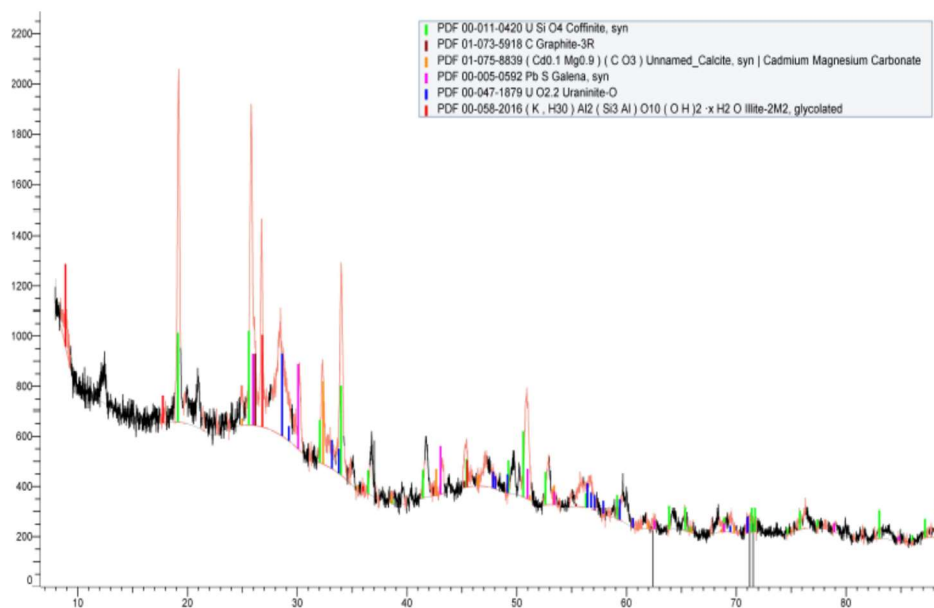


Рисунок 24. Результаты РФА (ОКЛ 1-1)

Проба ОКБ (зона графитизации) содержит 8% графита, помимо этого так же содержит характерный для месторождения иллит, уранинит, коффинит.



ОКБ (зона графитизации)

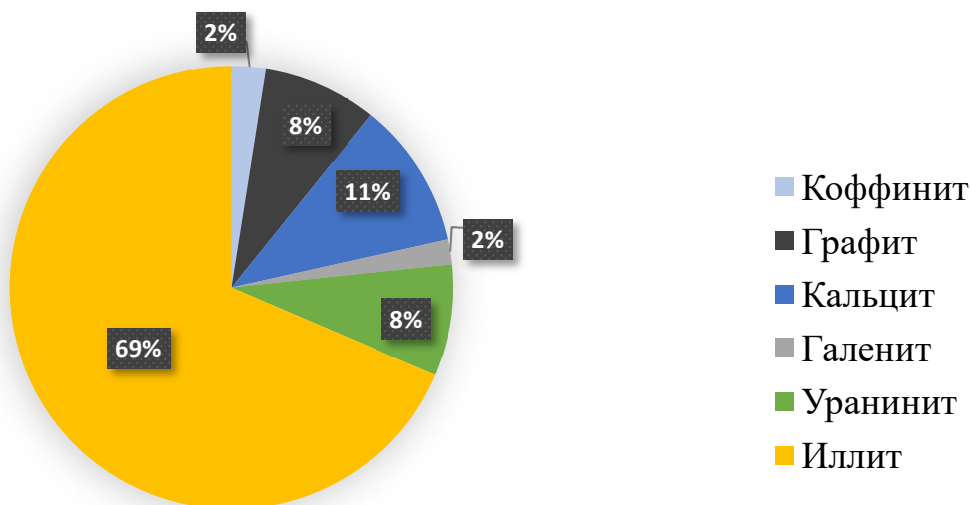


Рисунок 25. Результаты РФА (ОКЛ 1-1)

#### 4.1.2 Результаты электронной микроскопии

Проведены электронно-микроскопические исследования всех имеющихся образцов (OKL 1-1, OKL 1-2, ОКН 1, ОКН 2, ОКВ) с месторождения Богомбе. По результатам исследований во всех исследуемых образцах были выявлены основные рудные минералы месторождения – уранинит и коффинит.

Наличие обнаруженных с помощью РФА синтетических разновидностей уранинита, к сожалению, не удастся выделить с помощью метода электронной микроскопии, так как данный метод не позволяет определить структуру кристаллической решетки минерала.

На рисунке ниже изображена частица уранинита – оксида урана, являющегося основным рудным минералом месторождения. Частицы ураниниты встречались в каждом изученном образце, содержание урана в частицах 60-85%.

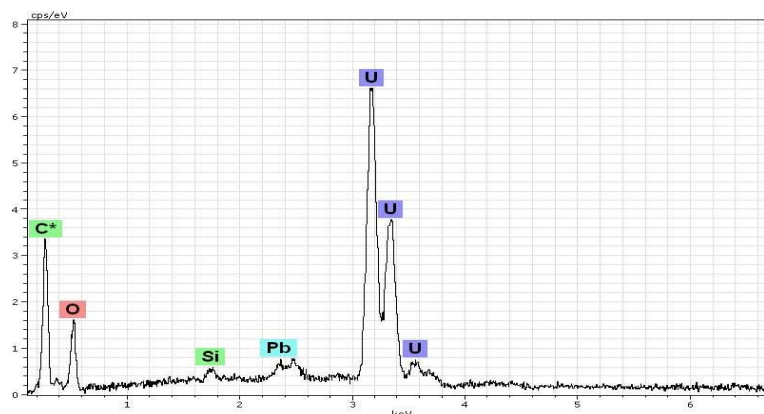
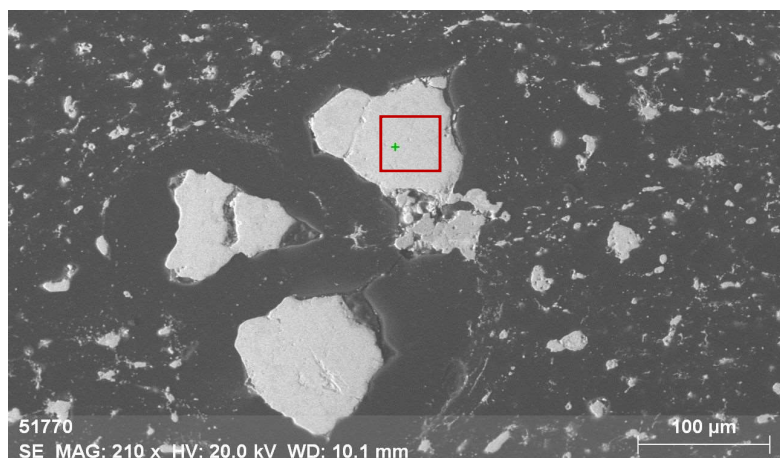


Рисунок 26. Зерно уранинита и его энергодисперсионный спектр (образец ОКН-1)

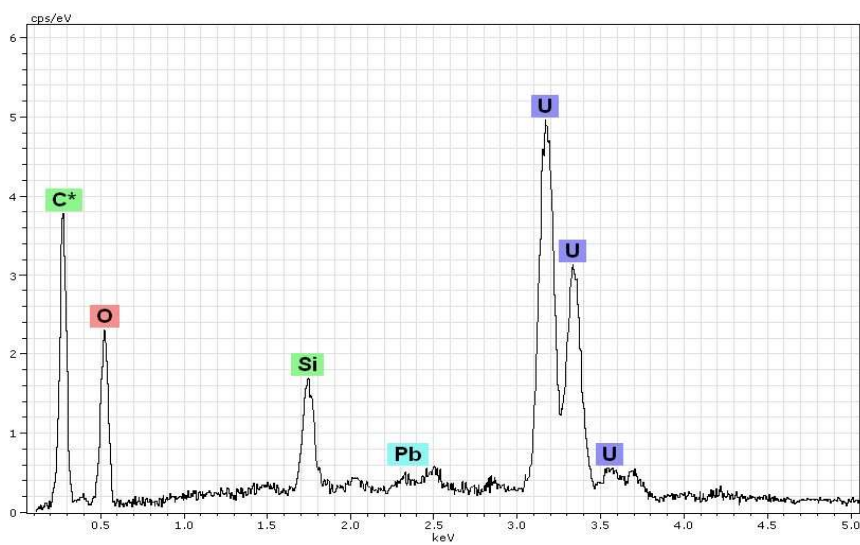
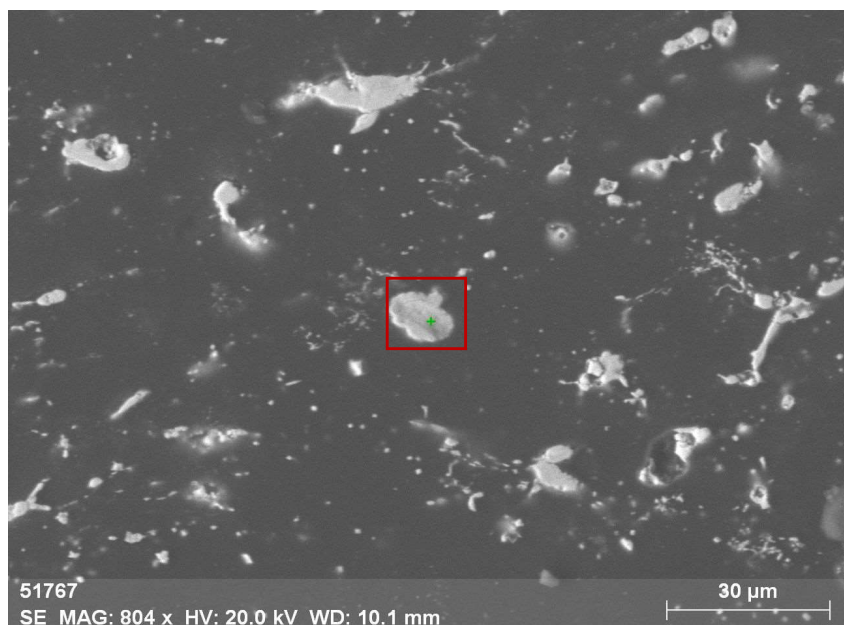


Рисунок 27. Зерно коффинита и его энергодисперсионный спектр (образец ОКН-1)

На рисунке выше изображено зерно коффинита, являющегося одним из основных рудных минералов месторождения.



На рисунке ниже изображена частица уранинита с большим содержанием радиогенного свинца в центральной части зерна.

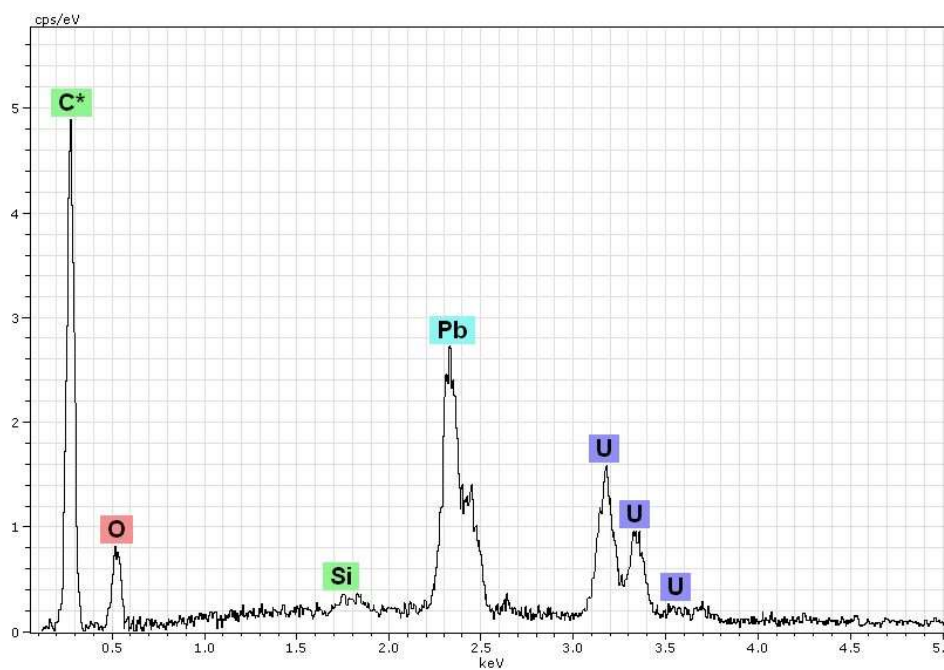
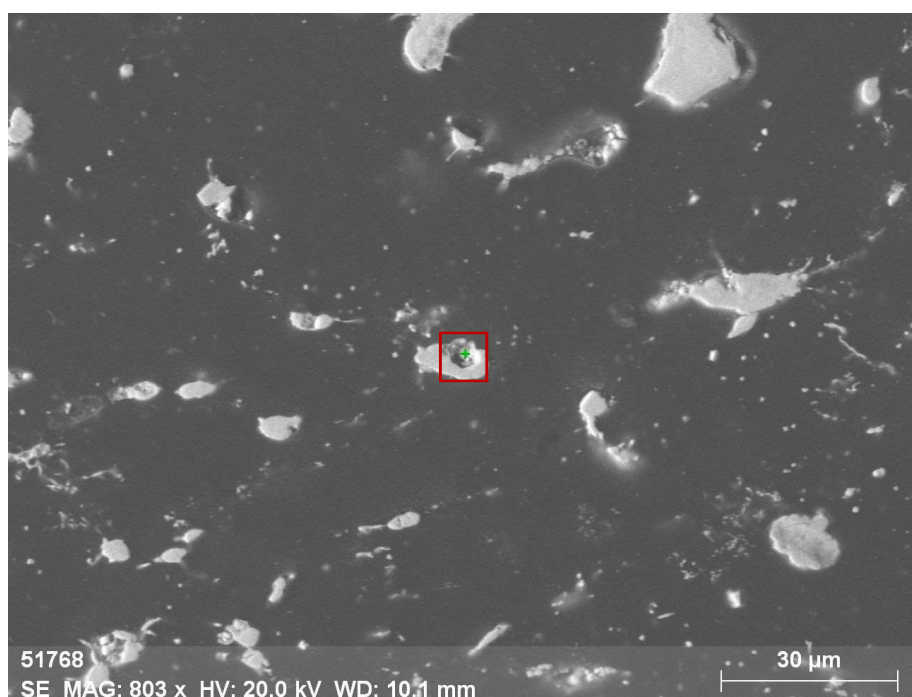


Рисунок 28. Частица уранинита с высоким содержанием свинца и его энергодисперсионный спектр (образец ОКЛ-1)

На рисунке ниже так же изображена частица свинца кубической формы  
содержание Pb- 70,4% в содержанием O – 24% и примесью кремния.

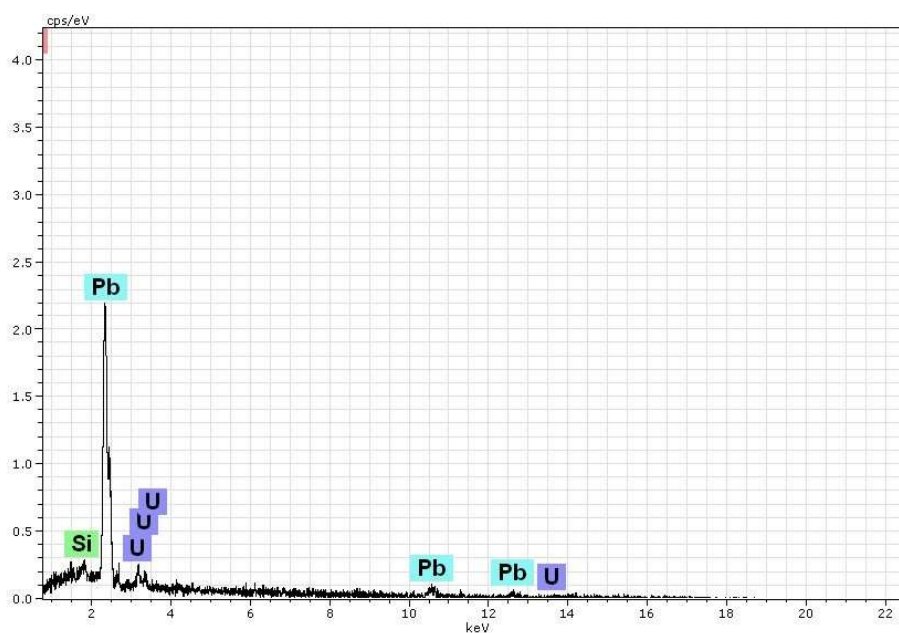
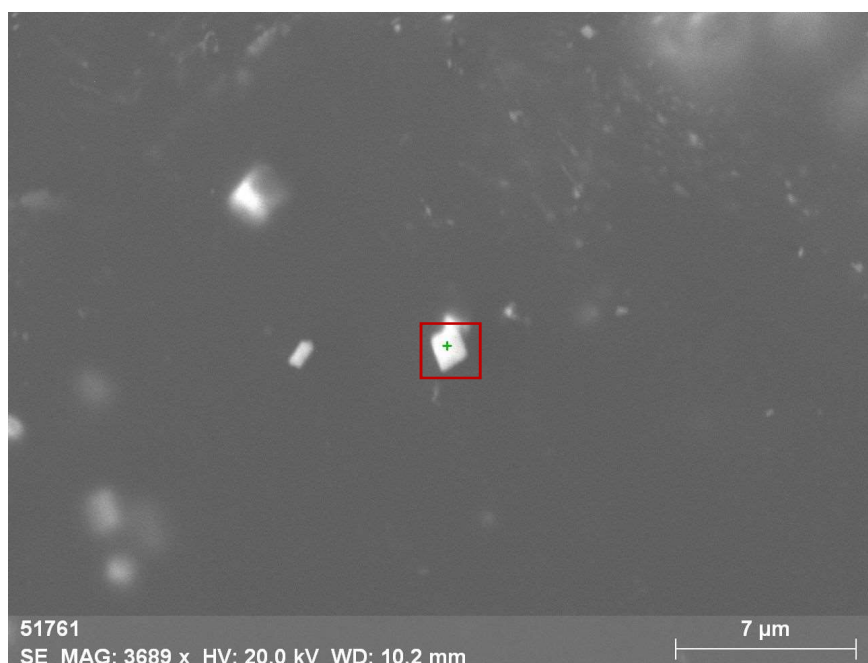


Рисунок 29. Кубическая частица оксида свинца и ее энергодисперсионный спектр (образец ОКЛ-2)

Так же с помощью режима сканирования отслежено распределение кремния и свинца в частицах уранинита. На изображении слева, как видно, имеются вкрапленники кварца в уранинит в верхней и левой частях зерна. Свинец, являясь продуктом распада урана, по частицам распределяется равномерно.

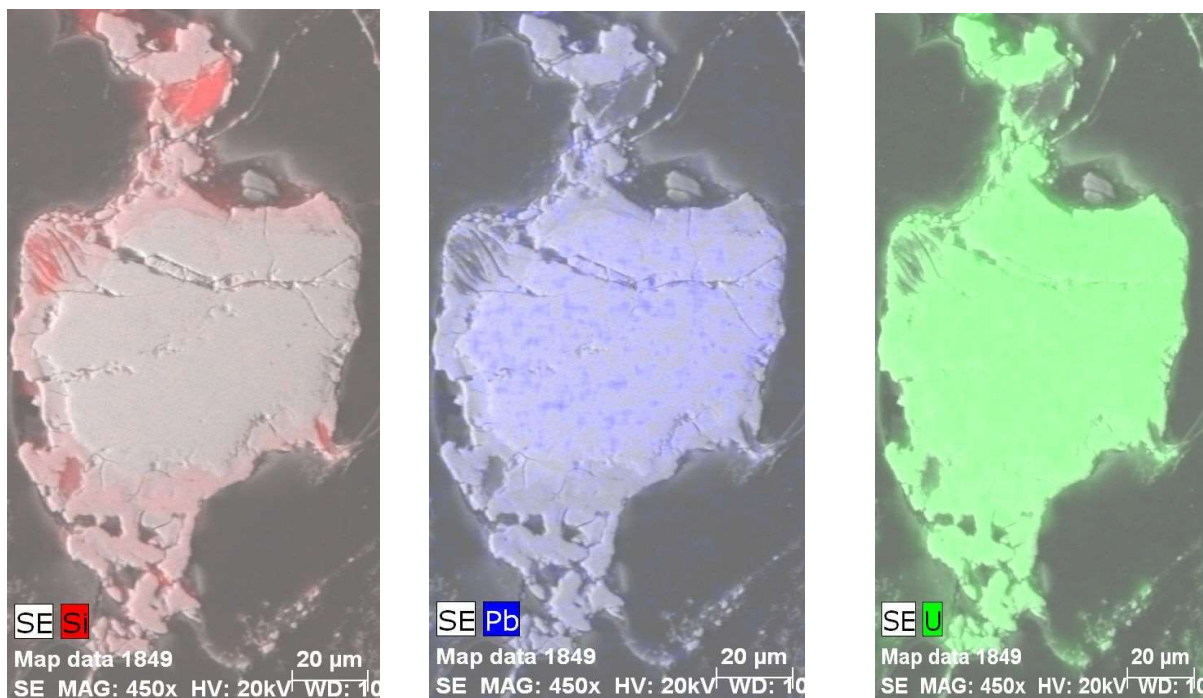


Рисунок 30. Распределение кремния, свинца и урана в частице уранините (ОКВ)

#### 4.2 Геохимические особенности

Обработка результатов масс-спектрального анализа изотопов свинца в некоторых пробах как из зоны реактора, так из зоны загрязнения с целью обнаружения "лишних" по сравнению с рассчитанным количеством изотопов, оказалась весьма затруднительной, так как к настоящему времени в пробах из зоны реакции сохранилось лишь около 1/3 накопившегося свинца. Вследствие этого была предпринята попытка обнаружить следы ядерных реакций далекого прошлого сравнением изотопного состава свинца, определенного масс-спектрометрически, с рассчитанным на основании известных содержаний  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и возраста 1,9 млрд. лет [18].

Таблица 1. Результаты определения урана, тория и свинца в некоторых образцах [18].

№ пп	Номер проб	Содержание урана	$U^{235}/U^{238} + U^{235}$ (%)	Содержание $U^{235}$ (г/т)	Содержание тория		Содержание свинца	
					%	г/т урана	%	г/т
1	1410	51,25	0,539	$2,77 \cdot 10^{-3}$	(0,32±0,02)	$6,25 \cdot 10^{-3}$	6,17	0,12
2	1414	44,1	0,4166	$1,83 \cdot 10^{-3}$	(0,38±0,02)	$8,64 \cdot 10^{-3}$	5,05	0,115
3	1418	58,9	0,569	$3,36 \cdot 10^{-3}$	(0,32±0,02)	$5,34 \cdot 10^{-3}$	6,13	0,104
4	1402	2,87	0,657	$1,89 \cdot 10^{-4}$	(0,06)			
5	1406	6,4	0,0126	$3,9 \cdot 10^{-4}$	(0,14)		1,23	0,192
6	1422	5,0	0,5098	$2,55 \cdot 10^{-4}$	(0,066)		1,33	0,266

Зависимость количества тория на 1 г урана от степени выгорания изотопа  $^{235}\text{U}$  имеет линейный характер и подтверждает высказанное предположение.

Таблица 2. Изотопный состав свинца [18]

Номер пробы	Метод определения	Изотопный состав радиогенного свинца			206/207
		206	207	208	
1414	Расчетный	94,37	5,44	0,22	17,2
	Масс-спектральный	93,5	6,17	0,317	15,1
1410	Расчетный	93,12	6,97	0,158	13,4
	Масс-спектральный	92,8	6,86	0,305	13,5
1422	Расчетный	93,2	6,53	0,335	13,6
	Масс-спектральный	91,9	7,77	0,29	11,8

В таблице 2 представлены результаты сравнения изотопного состава радиогенного свинца расчетного и определенного масс-спектрометрически, из которой следует, что содержание изотопа  $^{207}\text{Pb}$  в пробах из зоны реакции

очень близко к рассчитанному (проба 1410) или слегка его превышает (проба 1414). Последнее может свидетельствовать о сравнительно большом промежутке времени между образованием месторождения и началом ядерных реакций. Что касается пробы 1422 (зона загрязнения), то в ней содержание изотопа  $^{207}\text{Pb}$  превышает рассчитанное почти на 20%. Это последнее обстоятельство в сочетании с тем, что общее количество свинца, приходящегося на 1 г урана, в пробе 1422 превышает в 2,5 раза его содержание в пробах из зоны реакции, может свидетельствовать о том, что в зоне "загрязнения" произошло смешивание урана с естественным изотопным составом с сильно выгоревшим ураном и продуктами его распада (в результате неоднократных сбросов). Вследствие этого содержание  $^{235}\text{U}$  оказалось заниженным, а содержание  $^{207}\text{Pb}$  завышенным [18].

Так же, помимо изучения изотопного состава свинца, выполненный ранее [20] анализ имеющихся геохимических материалов по урановым рудам из реакторной зоны природных ядерных реакторов Окло и Богомбо, которые, по своей сути, являются аналогом отработанного в промышленных реакторах ядерного топлива, показали, что в них происходило образование ряда химических элементов, являющихся продуктами деления ядер урана (табл 3).

Таблица 3. Содержание некоторых микроэлементов (г/т) в рудах из реакторной зоны и вне её [20]

Элементы	Номера проб					
	1400	<b>1469</b>	<b>1480</b>	<b>1492</b>	1640	1700
Ru	-	<b>200</b>	<b>71,6</b>	<b>306</b>	-	-
Rh	-	<b>38,09</b>	<b>14</b>	<b>50,5</b>	-	-
Pd	-	<b>26,9</b>	<b>11,1</b>	<b>37,2</b>	-	-
Te	-	<b>34,5</b>	<b>12,4</b>	<b>48,8</b>	-	-

Примечание: прочерк – элемент не обнаружен; жирным шрифтом выделены пробы из реакторной зоны

Таким образом, и в отработанном ядерном топливе (ОЯТ) промышленных ядерных реакторов происходит накопление продуктов деления ядер урана, таких как Ru, Rh, Pd, Te, вследствие чего оно может представлять промышленный интерес [20].

Образование и накопление редкоземельных элементов и прочих продуктов распада может быть связано с геологическим строением реакторных зон: в результате реакции цепного ядерного деления с вмещающими реактор породами происходили гидротермальные изменения (выделяемое в результате реакции тепло + поступление подземных вод, регулирующих режим фаз работы реактора), из-за чего вокруг зон реакторов образовался естественный «экран» из гидротермально измененных глинистых материалов, являющихся, по сути, своеобразным геохимическим барьером, сдерживающим рассеяние и накапливающим продукты распада (Рис. 31).

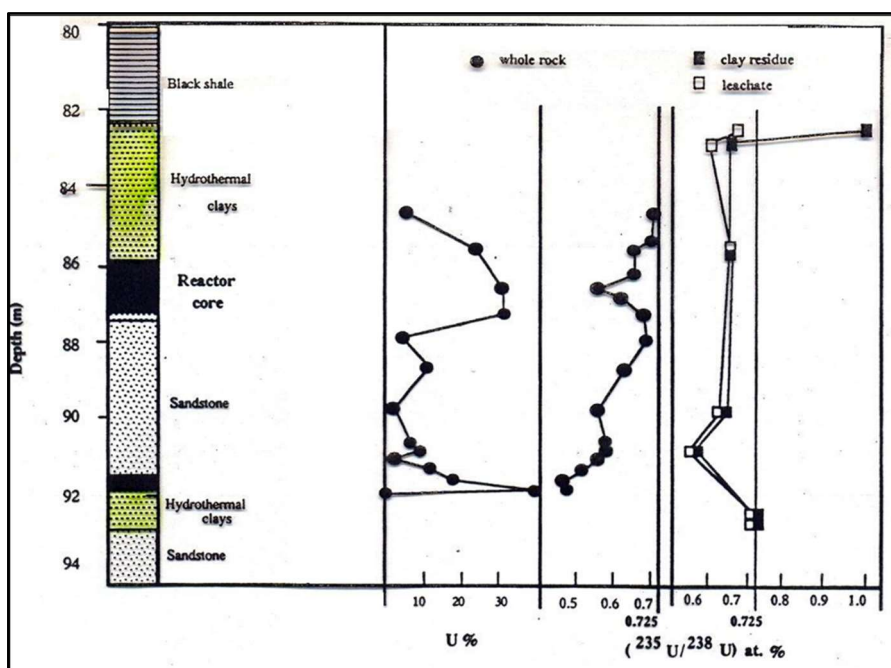


Рисунок 31. Состав пород, вмещающих природный ядерный реактор и некоторые характеристики урановых руд [22].

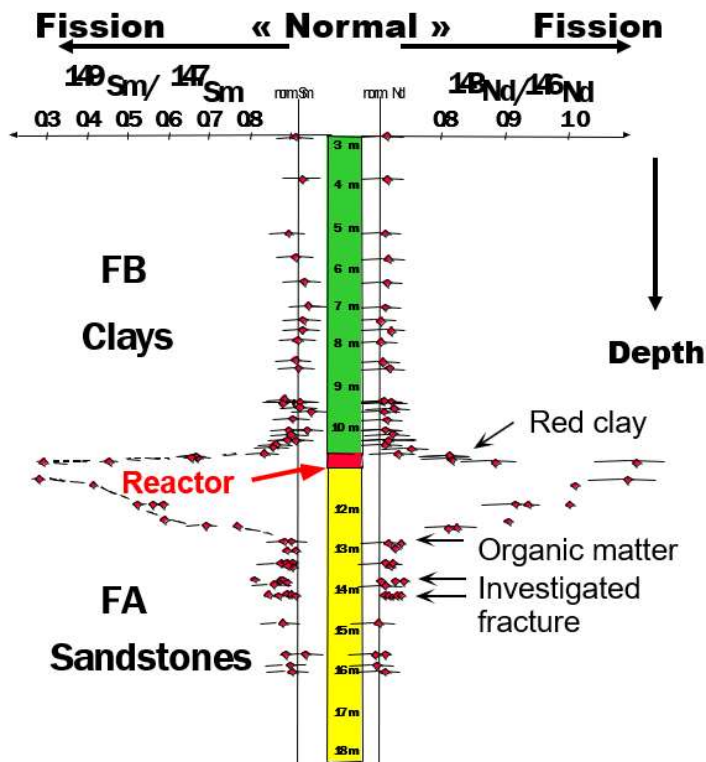


Рисунок 32. Схематическое изображение строения зоны реактора в разрезе с выносом графиков распределения отношения изотопов  $^{148}\text{Nd}/^{146}\text{Nd}$  и  $^{149}\text{Sm}/^{147}\text{Sm}$  [21].

На рисунке 32 отчетливо видно изменение соотношения содержания изотопов  $^{149}\text{Sm}/^{147}\text{Sm}$  и  $^{148}\text{Nd}/^{146}\text{Nd}$  по сравнению с фоном вмещающих пород (менее 0,05 в зоне реактора и 0,09 в вмещающих породах для самария, более 0,09 в зоне реактора и около 0,07 в вмещающих породах для неодима). Это явление, исследованное Французским комитетом по атомной энергии, объясняется изотопическим обеднением породы, произошедшим в результате того, что изотопы  $^{149}\text{Sm}$  и  $^{146}\text{Nd}$ , являются хорошими поглотителями нейтронов и превращаются в другие изотопы при облучении потоков нейтронов, выделяющимися при ядерном выгорании урана.

## **5. Социальная ответственность**

Целью данной работы является изучение минералого-геохимических особенностей руд месторождения Окло (Республика Габон).

В рамках данной работы выполнялась обработка результатов анализов проб руды, работа с электронным микроскопом, дифрактометром, построение графического материала, а также набор текста. Работы на электронно-вычислительных машинах проводились в учебных аудиториях на базе НИ ТПУ.

При работе с использованием персональных ЭВМ существуют опасные и вредные факторы, которые могут стать причиной профессиональных заболеваний и травм. Соблюдение правил и техники безопасности эксплуатации персональной ЭВМ позволяет ослабить воздействие данных факторов и предотвратить травматизм.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Охрана труда и техника безопасности это – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия (статья № 1 Федерального закона «Об основах охраны труда в Российской Федерации», 17.07.1999 г. №181-ФЗ), образующие механизм реализации конституционного права граждан на труд (ст. 37 Конституции РФ) в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены.

Согласно 37 статье Конституции РФ [34], работник имеет право на труд, в тех условиях, которые отвечают специальным требованиям гигиены и безопасности, а также каждый имеет право на отдых.

«Федеральная служба по труду и занятости Министерства здравоохранения и социального развития Правительства РФ» осуществляет специализированные функции, по надзору и контролю в сфере труда.



Главные задачи трудового законодательства – создание необходимых правовых условий для достижения согласования интересов сторон трудовых отношений, интересов государства, а также правовое регулирование трудовых отношений и иных непосредственно связанных с ними отношений.

В постановлении «О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов» часть 3 представлены требования к помещениям для работы с персональными электронно-вычислительными машинами (далее ПЭВМ):

- Естественное и искусственное освещение должно соответствовать требованиям действующей нормативной документации. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток.

- Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

- Площадь на одно рабочее место должно составлять 4,5 м.

- Помещения должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации.

Обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда, согласно ст. 212 ТК РФ [35], возлагаются на работодателя. Последний, руководствуясь указанной статьей, обязан обеспечить безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов. Кроме того, работодатель обязан обеспечить, соответствующие требованиям охраны труда, условия труда на каждом рабочем месте; режим труда и отдыха работников в соответствии с трудовым законодательством, и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права. Работодатель должен извещать работников, об условиях охраны труда на рабочих местах, о возможном риске для здоровья, о средствах индивидуальной защиты и компенсациях.

В организации режим труда и отдыха носит следующий характер:

- Пятидневная рабочая неделя с двумя выходными днями;
- Продолжительность ежедневной работы 8 часов;
- Время начала и окончания работы с 8:00 до 17:00;
- Время перерывов в работе с 12:00 до 13:00.

Также, устанавливается отпуск в количестве 28 дней в течение года, и другие выходные (праздничные) дни, предусмотренные трудовым законодательством РФ.

## **5.2 Производственная безопасность**

Соблюдение установленных норм и правил при работе с ПЭВМ – залог безопасной и продуктивной работы. Данные нормы и правила направлены на предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье человека вредных факторов производственной среды и трудового процесса при работе с ПЭВМ.

В таблице представлены основные опасные и вредные факторы по ГОСТ 12.0.003-2015, выявленные в ходе анализа проведения исследовательских работ на компьютере [33].

Таблица 3 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении камеральных работ

Наименование видов работ	Факторы ГОСТ 12.0.003-2015		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Работа на ЭВМ (поиск информации, обработка результатов, набор текста, построение графических изображений)	1. Недостаточная освещенность рабочей зоны 2. Отклонение показателей микроклимата в помещении 3. Шум на рабочем месте. 4. Нервно-психические нагрузки (умственное перенапряжение)	1. Электрический ток 2. Пожароопасность	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 СанПиН 2.2.4.548-96 СП 2.2.1.1312-03 СП 52.13330.2016 НПБ 105 – 95

### 5.3 Анализ вредных и опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

#### Недостаточная освещённость рабочей зоны

Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

Установлено, что свет, помимо обеспечения зрительного восприятия, воздействует на нервную оптико-вегетативную систему, систему формирования иммунной защиты, рост и развитие организма и влияет на

многие основные процессы жизнедеятельности, регулируя обмен веществ и устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Помимо прочего, недостаточная освещенность рабочей зоны несет в себе опасность усталости глаз и как следствие снижения зрения [23].

Недостаточная освещенность может возникать при неправильном выборе осветительных приборов при искусственном освещении и при неправильном направлении света на рабочее место при естественном освещении.

Требования к освещению в помещениях для работы с ПЭВМ регламентируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [24].

Среди основных требований требования по расположению окон (окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток), а также площади для одного рабочего места (площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) - 4,5 м). Также, согласно санитарно-гигиеническим требованиям, рабочее место с ПЭВМ должно освещаться комбинированным освещением. Естественное освещение поступает в помещение через окно в светлое время суток. Искусственное обеспечивается за счет люминесцентных ламп типа ЛБ [25].

Естественное освещение нормируется по «коэффициенту естественной освещенности» (КЕО) или (е) естественного освещения. Коэффициент естественной освещенности рассчитывается по формуле:

$$КЕО=(E/E_0)\cdot 100\%,$$

где E – освещенность (измеренная) на рабочем месте, лк; E<sub>0</sub> – освещенность на улице (при среднем состоянии облачности), лк.

При точной работе, коэффициент естественного освещения (КЕО) должен быть не ниже 1,5%. При зрительной работе средней точности КЕО не ниже 1,0%.

Таблица 4 – Нормируемые параметры естественного и искусственного освещения в помещении лаборатории и помещении с ПЭВМ [24]

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО ен, %		КЕО ен, %		Освещенность, лк		при общем освещении
		при верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при комбинированном освещении		
						всего	от общего	
Помещения для работы с ЭВМ	Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400
	Экран монитора: В-1,2	-	-	-	-	-	-	200
Лаборатории	Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400

В качестве источников света при искусственном освещении должны применяться преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ.

Допустимая освещенность при общем освещении составляет  $E=300$  лк, высота рабочей поверхности составляет  $h_p=0,8$  м [24]. В аудиториях используются системы общего освещения. Размеры первой аудитории: длина  $A=8$  м, ширина  $B=6$  м, высота  $H=3,5$  м.

Светильники размещены в три ряда по четыре светильника в ряду. Тип светильников - ЛВО  $4 \times 18$  мощностью 71,5 Вт, длиной 0,6 м, световой поток составляет  $\Phi=3500$  лм. Для люминесцентных ламп:  $z=1,1$ ;  $k=1,5$ .

Высота лампы над рабочей поверхностью составит:

$$h=H-h_p=3,5 \text{ м} - 0,8 \text{ м}=2,7 \text{ м}.$$

Чтобы определить параметр  $\eta$  следует найти индекс помещения  $i$ :

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} = \frac{8 \cdot 6}{2,7 \cdot (8+6)} = 1,27$$

где  $A$  и  $B$  – длина и ширина помещения;  $h$  – высота над рабочей поверхностью.

Исходя из рассчитанного индекса помещения коэффициенты отражения поверхностей для рабочего помещения: R потолка=0,5, R стен=0,5, при таких данных коэффициент использования =60%. Рассчитаем количество светильников:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{\Phi_{л} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 48,5 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{3500 \cdot 0,6} = 11,4 \text{ шт}$$

Для обеспечения необходимого уровня освещенности требуется минимум 12 светильников. В аудитории 12 светильников, следовательно, достаточный уровень освещенности (рис.6.1).

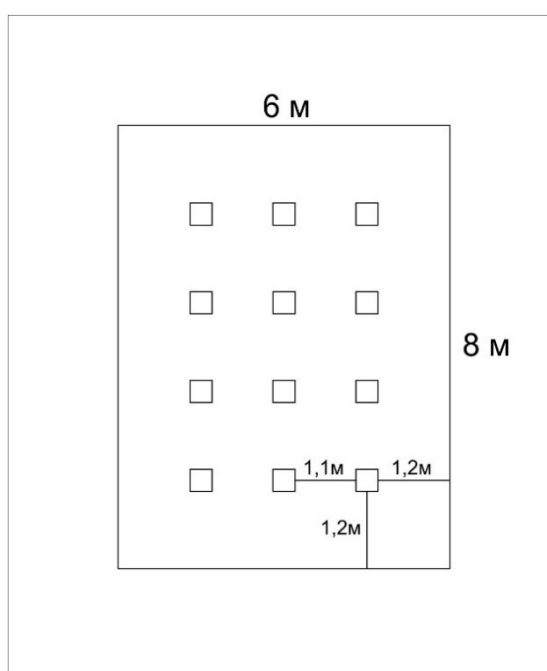


Рисунок 26 - Схема расположения светильников в камеральном помещении

### **Отклонение показателей микроклимата в помещении**

Внутренний баланс организма человека во многом зависит от внешних условий среды. Микроклимат помещения, в котором человек находится продолжительное время, значительно влияет на работоспособность, функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье, так и надежность работы ПЭВМ. Их отклонение может негативно отражаться на организме, становясь причиной пересыхания и растрескивания кожи и слизистой, а также последующего заражения болезнетворными микроорганизмами, и общей работоспособности организма. Таким образом,

чем дольше мы пребываем в некомфортном состоянии, тем сильнее это сказывается на работе нашего организма.

Микроклимат любых помещений характеризуется температурой воздуха, его влажностью и скоростью движения.

В помещениях на микроклимат больше всего влияют источники теплоты. К ним относится вычислительное оборудование, лампы накаливания, солнечная радиация. В таблице 6.2 отражены параметры микроклимата в холодный период года для помещений, в которых осуществлялись лабораторные и камеральные работы, а также установлены компьютеры.

Таблица 5 - Параметры микроклимата для помещений лабораторий и учебных аудиторий [25]

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
	Оптимальная	Допустимая		
Холодный	21-24	20-25	40-60	0,1
Теплый	22-25	21-26	40-60	0,1

Для поддержания вышеуказанных параметров воздуха в помещениях с ПЭВМ необходимо применять системы отопления и кондиционирования или эффективную приточно-вытяжную вентиляцию [24].

Нормы оптимальных и допустимых показателей микроклимата при работе с ЭВМ устанавливает СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [24]. Таким образом, согласно пункту, IV данного СанПиНа, в помещениях, оборудованных персональным компьютером, должна проводиться ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ, а также, в данном помещении, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б (указаны в Таблице 6.2).

### **Зрительное напряжение**

При длительной работе с ПК можно заметить симптомы, обусловленные раздражением глаз: покраснение глаз, слезотечение, чувство сухости глаза. Больше всего неприятностей доставляют симптомы зрительной усталости:

тяжесть в области век и надбровий, трудности с фокусировкой, затуманивание зрения, иногда слезотечение.

Чтобы избежать таких последствий, необходимо делать перерывы каждые 2 часа. При непрерывной работе с ПК необходимо выполнять комплекс профилактических мероприятий: - делать гимнастику для глаз каждые 20-25 минут работы на ПК, а при появлении дискомфорта, выражающегося в быстром развитии усталости глаз, мелькании точек перед глазами и т.п., гимнастика для глаз проводится индивидуально и самостоятельно, независимо от указанного времени [26].

### **Степень нервно-эмоционального напряжения;**

Длительная работа в условиях постоянного нервно-эмоционального напряжения может привести к сердечнососудистым заболеваниям. Всякое воздействие, превышающее допустимые пределы, вызывает нарушение деятельности анализаторов и даже приводит к болевым ощущениям. Задача разработчиков технологических процессов - не допустить перенапряжение высшей нервной деятельности, иначе может наступить стресс. Стресс появляется в экстремальных ситуациях при невозможности адаптации организма к чрезвычайным воздействиям. Производственный процесс должен быть организован таким образом, чтобы появление стрессов было исключено.

Важным фактором, влияющим на нервно-эмоциональное напряжение, является фактическая продолжительность рабочего дня. При продолжительности рабочего дня до 7 ч условия труда считаются оптимальными, до 9 ч - к допустимыми, более 9 ч - к напряженным. Продолжительность непрерывной работы до 12 ч относят к напряженному труду 1 степени, а более 12 ч - к 2 степени.

Таким образом, соблюдение фактической продолжительности рабочего дня, снижает возможность нервно-эмоционального перенапряжения [23].

### **Монотонность труда**



Однообразие выполняемых операций приводит к определенному техническому состоянию человека, называемому монотонией. Признаком монотонии является либо перегрузка одинаковой информацией, либо недостаток новой. Это накладывает отпечаток на функциональное состояние человека: он теряет интерес к выполняемой работе. Монотонная работа снижает эффективность труда, увеличивает текучесть кадров, аварийность и, как следствие, травматизм на производстве. Степень монотонности определяется числом элементов (приемов труда при реализации простого задания или многократно повторяющихся операций) и продолжительностью во времени выполнения этих элементов или операций. Если число элементов составляет 10 и более, то условия труда считают оптимальными; от 9 до 6 - допустимыми; менее 6 – напряженными [23].

## **Шум**

Шумовое загрязнение среды на рабочем месте неблагоприятно воздействует на работающих: снижается внимание, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, замедляется скорость психических реакций и т.п. В результате снижается производительность труда и качество выполняемой работы.

Согласно СанПиН 2.2.4.3359-16, нормы шума на рабочем месте включают следующие показатели:

- эквивалентный уровень звука А за рабочую смену;
- максимальные уровни звука А, измеренные с временными коррекциями S и I;
- пиковый уровень звука С.

Если хотя бы один из этих показателей превышен, значит, допустимые нормы шума на рабочем месте (ПДУ) нарушены.

Главные санитарные нормы уровня шума на рабочих местах следующие – это 80 дБА. Максимальные уровни звука А, измеренные с временными

коррекциями S и I, не должны превышать 110 дБА и 125 дБА соответственно. А пиковый уровень звука C не должен превышать 137 дБС.

Для офисных помещений допустимый уровень шума 50дБ [23].

В работе используется ноутбук Acer Aspire E15, согласно его техническим характеристикам в нормальных условиях он создает уровень шума около 31,6 дБ(А), при сильной нагрузке 45,5 дБ(А). Таким образом, в случае используемого помещения уровень шума не превышает рекомендованных 50 дБ.

### **Электрический ток**

Электрические установки (компьютер, принтер, настольные лампы, розетки, провода и др.) представляют для человека большую потенциальную опасность, которая усугубляется тем, что органы чувств человека не могут на расстоянии обнаружить наличие электрического напряжения на оборудовании. Проходя через тело человека, электрический ток парализует нервную систему, что в частных случаях приводит к смертельному исходу.

Проходя через организм человека, электрический ток оказывает:

- термическое действие (ожоги, нагрев до высоких температур внутренних органов);
- электролитическое действие (разложение органических жидкостей тела и нарушение их состава);
- биологическое действие (раздражение и возбуждение живых тканей организма, что сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями мышц).

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [24], помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации. Не следует размещать рабочие места с ПЭВМ вблизи силовых кабелей и вводов, высоковольтных трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе ПЭВМ. Также, к работе в электроустановках

должны допускаться лица, прошедшие инструктаж и обучение безопасным методам труда, проверку знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе с присвоением соответствующей квалификационной группы по технике безопасности и не имеющие медицинских противопоказаний [27].

### **Короткое замыкание**

Короткие замыкания в электропроводах чаще всего происходят из-за нарушения изоляции токопроводящих частей в результате механических повреждений, старения изоляции, воздействия на нее влаги и агрессивных сред. При возникновении короткого замыкания общее сопротивление в электрической сети уменьшается, это приводит к увеличению тока по сравнению с нормальными условиями работы. Токи короткого замыкания могут достигать сотен ампер, при этом в короткий промежуток времени выделяется большое количество тепла, следовательно температура резко повышается.

Количество выделяющейся теплоты пропорционально квадрату силы тока. Если режим короткого замыкания продолжается несколько секунд (10-20), может загореться изоляция проводив. Причем воспламенение изоляции происходит одновременно на всем протяжении аварийного участка.

Для предохранения от КЗ существуют аппараты защиты. Это быстродействующие автоматы и плавкие предохранители. Они отключают от электропитания неисправный участок до наступления опасных последствий короткого замыкания [27].

### **Статическое электричество**

Статическое электричество (согласно ГОСТ 12.1.018) — это совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности (или в объеме) диэлектриков или на изолированных проводниках.

У людей, работающих в зоне воздействия электростатического поля, встречаются разнообразные жалобы: на раздражительность, головную боль, нарушение сна, снижение аппетита и др. Характерны своеобразные "фобии", обусловленные страхом ожидаемого разряда. Склонность к "фобиям" обычно сочетается с повышенной эмоциональной возбудимостью.

Одним из распространенных средств защиты от статического электричества является уменьшение генерации электростатических зарядов или их отвод с наэлектризованного материала, что достигается:

- заземлением металлических и электропроводных элементов оборудования;
- увеличением поверхностной и объемной проводимости диэлектриков;
- установкой нейтрализаторов статического электричества.

Заземление проводится независимо от использования других методов защиты.

Более эффективным средством защиты является увеличение влажности воздуха до 65-75%, если позволяют условия технологического процесса [28].

### **5.3 Экологическая безопасность**

#### **Правила утилизации ПК и комплектующих**

Почти во всех компьютерах, мониторах и иной оргтехнике в небольшом количестве присутствуют золото, серебро и другие драгоценные металлы. Любая организация обязана документально оформлять их поступление, движение, инвентаризацию и выбытие. Законодательство, также регулирует ответственность юридических лиц и госучреждений за утилизацию компьютерного оборудования. На это указывают сразу несколько документов:

- Федеральный закон от 26.03.98 №41 ФЗ «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» (п.2 ст.20);
- Уголовный Кодекс РФ, статья 192: «Нарушение правил сдачи государству драгоценных металлов и драгоценных камней» (Уклонение

от обязательной сдачи на аффинаж государству добытых из недр драгоценных металлов, полученных из вторичного сырья...)

- Кодекс РФ об административных правонарушениях, статья 19.14: «Нарушение правил извлечения, производства, использования, обращения, получения, учета и хранения драгоценных металлов, драгоценных камней или изделий, их содержащих».

Как правило, в учреждениях нет возможности самостоятельно проводить утилизацию оргтехники и изъятие деталей, содержащих драгметаллы. Кроме того, в ряде случаев их самостоятельное изъятие невозможно. Это обусловлено тем, что помимо драгоценных металлов в компьютерной технике часто содержатся вредные для жизни и здоровья человека вещества (например, ртуть, свинец и т. д.). А мониторы могут быть отнесены к классу опасных отходов, поскольку за годы работы в дисплеях накапливается радиация. В этих случаях законодательство запрещает самостоятельно избавляться от таких отходов. Это могут сделать лишь специализированные лицензированные организации (постановление Правительства РФ от 26 августа 2006 г. № 524). Поэтому учреждения должны планировать расходы с учетом утилизации оргтехники с помощью специализированных организаций.

Перечень организаций, имеющих право осуществлять аффинаж драгоценных металлов, утвержден постановлением Правительства РФ от 17 августа 1998 г. № 972 "Об утверждении Порядка работы организаций, осуществляющих аффинаж драгоценных металлов, и Перечня организаций, имеющих право осуществлять аффинаж драгоценных металлов" [29].

### **Правила утилизации макулатуры**

Сбор и утилизация макулатуры на предприятии носит рекомендательный характер. Рекомендации по утилизации макулатуры прописаны в ГОСТ Р 55090-2012 [30].

### **Правила утилизации люминесцентных ламп**

Начиная с 18 сентября 2010 года на территории России действует постановление правительства РФ №681 «Об утверждении правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде».

Согласно этому документу, специализированные организации обеспечивают сбор отработанных люминесцентных ламп у потребителей, а организация сбора ложится на органы местного самоуправления, которые должны проинформировать о порядке проведения сбора ламп как юридических лиц, так и индивидуальных предпринимателей, и частных лиц. Предприниматели также обязаны заключать договора со специализированной компанией, занимающейся вывозом подобных отходов.

Для накопления ламп юр.лицами обязательно применение специальной тары, и обязательно отдельно от остальных отходов. Транспортировка отработанных ламп в место сбора осуществляется в герметичной таре, на специальном транспорте для опасных грузов. Места сбора и транспортировки обязательно должны быть оснащены газосигнализаторами на пары ртути и обеспечены средствами индивидуальной защиты органов дыхания [31].

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайной ситуации**

Одним из наиболее вероятных и разрушительных видов ЧС является пожар на рабочем месте. Пожарная безопасность представляет собой единый комплекс организационных, технических, режимных и эксплуатационных мероприятий по предупреждению пожаров и взрывов.

Федеральным законом от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ утвержден «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [32]. Предотвращение распространения пожара достигается мероприятиями,

ограничивающими площадь, интенсивность и продолжительность горения. К ним относятся:

- конструктивные и объёмно-планировочные решения, препятствующие распространению опасных факторов пожара по помещению;
- ограничения пожарной опасности строительных материалов, используемых в поверхностных слоях конструкции здания, в том числе кровель, отделок и облицовок фасадов, помещений и путей эвакуации;
- наличие первичных, в том числе автоматических и привозных средств пожаротушения;
- сигнализация и оповещение о пожаре.

В исследуемом помещении обеспечены следующие средства противопожарной защиты:

- «План эвакуации людей при пожаре»;
- для локализации небольших возгораний оба помещения оснащены углекислотными огнетушителями (ОУ-8 в количестве 2 шт. в каждой аудитории);
- установлена система автоматической противопожарной сигнализации (датчики-сигнализаторы типа ДТП) [32].

## **5.5 Заключение по разделу**

Исходя из всех рассмотренных выше вредных и опасных факторов, помещения, используемые для работы, полностью соответствуют требованиям производственной и экологической безопасности, в том числе и в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

## **6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **Технико-экономическое обоснование продолжительности и объема работ**

Цель данной выпускной квалификационной работы заключается в изучении минералого-геохимических особенностей руд месторождений типа Окло (Габон). Для этого необходимо произвести следующие виды работ:

**Полевые работы.** Содержание работ: выбор пунктов отбора проб, отбор проб, маркировка проб, этикетирование и упаковка проб, изучение и описание материалов проб, отражение и закрепление на маршрутной карте пунктов наблюдения, регистрация проб в журнале. Всего отобрано 5 проб урана.

**Лабораторные работы.** Лабораторно-аналитические исследования проводились с применением комплекса современных методов анализа в аккредитованных лабораториях Международного инновационного научнообразовательного центра «Урановая геология» на базе кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

- Минеральный состав определялся рентгеноструктурным методом с использованием дифрактометра D2 Phaser. Исследования проводились в научно-производственном центре «Урановая геология» 20 корпуса ТПУ.

- Для определения морфологических особенностей (форма, размер) и вещественного состава применили электронно-микроскопические методы исследования на сканирующем микроскопе Hitachi S-3400N

**Камеральные работы.** Камеральная обработка материалов включает: сбор и систематизацию информации об изучаемой территории;

На основании технического плана рассчитываются затраты времени и труда (табл. 6).



Таблица 6 – Виды и объемы проведенных работ

№	Виды работ	Объем		Условия производства работ	Вид оборудования
		Ед. изм.	Количество		
1	Литогеохимические	проба	5	Отбор проб урана	
2	Лабораторные работы	проба	5	пробоподготовка	
		проба	5	Определение 28 химических элементов	ИНАА
		проба	5	Электронная микроскопия	Электронный микроскоп Hitachi S-3400N
		проба	5	Рентгеноструктурный анализ	Дифрактометр D2 Phaser
3	Камеральные работы			Обработка данных, анализ материала	ПК

### 6.1 Расчет затрат времени и труда по видам работ

Для расчета затрат времени и труда использовались нормы, изложенные в СН-93 выпуск 7 «Лабораторные исследования полезных ископаемых и горных пород». Из справочника берутся следующие данные:

- норма времени, выраженная на единицу продукции;
- коэффициент к норме.

Расчет затрат времени выполняется по формуле:

$$N = Q \times H_{вр} \times K \quad (3),$$

где:

$N_{вр}$ -затраты времени;

$Q$ -объем работ;

$H_{вр}$ - норма времени из справочника сметных норм (бригада/смена);

$K$ - коэффициент за ненормализованные условия;

Затраты времени приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет затрат времени и труда на рентгеноструктурный анализ

N п/п	Наименование этапа анализа, операции	Норма времени	Количество проб	Затраты времени
1	Подготовка(истирание пробы)	0,50	5	1,42
2	Получение дифрактограммы для качественного фазового анализа в одном интервале узлов	0,21	5	0,6
3	Точная идентификация (диагностика) минералов по рентгенометрическому определению в зависимости от групп их сложности: 3 группа	3,40	5	9,71

Затраты времени приведены в таблице 8.

Таблица 8 — Нормы времени на выполнение рентгеноструктурного анализа (в бригадо-часах)

N п/п	Наименование этапа анализа, операции	Единица измерения	Количество	Норма	Итого
1	2	3	4	5	6
1515	I. Подготовка проб к анализу	Проба		0,47	2,35
1517	Подготовка препарата для рентгеноструктурного анализа с фотографической регистрацией дифракции рентгеновских лучей	Проба		0,50	2,5

1519	Подготовка порошкового препарата, растирка со спиртом Подготовка ориентированного препарата	Проба	5	0,25	1.25
1543	Точная идентификация (диагностика) минералов по рентгенометрическому определению в зависимости от групп их сложности: III группа	Проба		3,40	17
Общие затраты					23.1

Все работы выполняются одним человеком. Затраты времени составляют 23,1 часов.

## 6.2 Перечень и нормы расхода материалов на рентгеноструктурный анализ

Перечень расхода материалов используемых при рентгеноструктурном методе, нормы расхода представлены в таблице 9. Используются нормы из ССН-93 выпуск 7 «Лабораторные исследования полезных ископаемых и горных пород».

Таблица 9 — Перечень и нормы расхода лабораторной посуды, реактивов и материалов, применяемых при производстве рентгеноструктурного анализа

N п/п	Наименование	Единица измерения	Цена, руб	Норма расхода	Сумма, руб
1	Бланки для выписывания результатов анализа	шт.	6*2	100,0	1200
2	Вата медицинская гигроскопическая	Кг	0,1*50	1,0	5
3	Материалы для оформления результатов анализа (журнал, бумага,	руб.	66,5	45,0	2992,5

	тушь, чернила и др.)				
4	Пинцет медицинский	шт.	102	1,0	102
Итого: 4300 руб.					

Расчет затрат на возмещение износа основных средств используемых при выполнении работ, приведен в таблице.

Таблица 10 – Расчет затрат на возмещение износа основных средств (амортизационные отчисления)

Наименование основных средств	Ед. изм.	Число единиц	Балансовая стоимость единицы, руб.	Продолжительность использования, месяцев	Норматив годовых отчислений, %	Сумма, руб.
ПК Acer	шт	1	50000	3	20	2500
Принтер HP	шт	1	5000	3	20	250
МФУ Epson	шт	1	15000	3	20	750
Итого	шт	4	65000			3500

### 6.3 Общая стоимость лабораторных анализов

Таблица 11 — Расценки на проведенные лабораторные испытания и подсчитана общая стоимость всех проведенных методов.

№	Вид работ	Метод	Объем		Стоимость единицы работ	Общая стоимость работ
			Ед. изм.	Кол-во		
1	Лабораторные	ИНАА	Проба	5	1800	9000
		РСА	Проба	5	800	4000
		Эл. микроскопия	Проба	5	2000	10000

2	Камеральные	ПЭВМ	-	-	-	-
Итого				15	-	23,000
о						

Таким образом, стоимость проведенных анализов составляет 23,000 рублей (табл. 11).

#### 6.4 Общий расчет сметной стоимости

Общая сметная стоимость работ складывается из следующих статей расходов: затраты на оплату труда сотрудников, материальные затраты, амортизация основных средств, а также расходы на арендную плату. Рассчитанная общая сметная представлена таблицей 12.

Таблица 12 – Расчёт сметной стоимости

Расчёт сметной стоимости создания НТП		
№ п/п	Статьи расходов	Сметная стоимость, тыс. руб.
1	Расходы на лабораторную посуду, реактивы и материалы, применяемые при производстве рентгеноструктурного анализа	4300
2	Амортизационные отчисления	3500
3	Проведенные лабораторные испытания	23000
	Итого основные расходы	30800

Таким образом, в данной главе было составлено экономическое обоснование стоимости проведения научного исследования, включающее в себя расчет затрат времени и труда, а также сметы по всем видам проведенных работ, суммирование которых дало представление об общей стоимости проведенных исследований. В результате расчетов можно сделать вывод о том, что стоимость исследования составила 30800 рублей, где наибольшая

доля принадлежит затратам на проведенные лабораторные испытания (23000 рублей).

## Заключение

В данной магистерской диссертации было изучено множество литературных источников на английском и французском языках, изучено и охарактеризовано геологическое строение и особенности образования месторождений типа Окло - природных ядерных реакторов. Проведенные работы включают в себя рентгенофазовые и электронно-микроскопические исследования образцов.

Результаты изучения образцов урановых руд месторождения Богомбе:

Главные рудные минералы (уранинит и коффинит) месторождения присутствует в каждом из изученных образцов, помимо этого, согласно данным РФА, руда зоны реактора так же содержит две модификации уранинита, что может являться следствием протекания реакции деления.

Согласно результатам РФА изученных образцах большой содержание глинистого минерала – иллита, характерного для месторождений типа Окло, небольшие содержания галенита и коффинита, отслеженные и с так же с помощью метода электронной микроскопии.

Частицы уранинита во всех пробах содержат равномерно распределенные вкрапленники радиогенного свинца. Вероятно, что на месторождении окисел урана принадлежит к реликтам самого древнего уранинита, кристаллическая решетка которого "растянута" радиогенным свинцом за счет "принудительного изоморфизма".

Так же выполненный ранее анализ имеющихся геохимических материалов по урановым рудам из реакторной зоны природных ядерных реакторов Окло и Богомбо, показали, что в них происходило образование ряда химических элементов, являющихся продуктами деления ядер урана, например: рутения, родия, палладия, теллура.

В главе «социальная ответственность» рассмотрена производственная и экологическая безопасность при проведении лабораторных исследований образцов. В главе «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен расчет затрат времени по и средств на

лабораторные исследований образцов. В приложении к ВКР описаны особенности природных ядерных реакторов на английском языке.



### Список литературы:

1. Neuilly, M., Bussac, J., Frejacques, C., Nief, G., Vendryes, G., Yvon, J., 1972. Sur l'existence dans un passe' recule' d'une re' action en cha^ne naturelle de fission, dans le gisement d'uranium d'Oklo (Gabon). C.R. Acad. Sci. Paris 275, 1847 –1849.
2. Maas, R., McCulloch, M.T., 1990. A search of fossil nuclear reactors in the Alligator River uranium field, Australia: constraints from Sm, Gd and Nd isotopic studies. Chem. Geol. 88, 301 –315.
3. Weber, F., 1968. Une se'rie pre'cambrienne du Gabon: le Francevillien. Se'dimentologie, ge'ochimie et relation avec les g^ites mine'raux associe's. Me'm. Serv. Carte Ge'ol. Als. Lorr. 28, 328.
4. Gauthier-Lafaye, F., Weber, F., 1989. The Francevillian (Lower Proterozoic) uranium ore deposits of Gabon. Econ. Geol. 84, 2267 –2285.
5. Gauthier-Lafaye, F., Weber, F., Ohmoto, H., 1989. Natural fission reactors of Oklo. Econ. Geol. 84, 2286 –/2295.
6. Gauthier-Lafaye, F., Holliger, P., Blanc, P.-L., 1996b. Natural fission reactors in the Franceville basin, Gabon: a review of the conditions and results of a critical event in a geologic system. Geochim. Cosmochim. Acta 60, 4831 –4852.
9. Габон // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд. — М. : Советская энциклопедия, 1969—1978.
10. Габон // Общая характеристика хозяйства [Электронный ресурс] URL: <http://www.mining-enc.ru/g/gabon/>
11. Габон // Полезные ископаемые и горная промышленность [Электронный ресурс] URL: <http://www.mining-enc.ru/g/gabon/>
12. P. K. Kuroda, "Nuclear Fission in the Early History of the Earth," Nature 187, 36 (1960).
13. Francois Gauthier-Lafaye, Francis Weber "Natural nuclear fission reactors: time constraints for occurrence, and their relation to uranium and manganese deposits and to the evolution of the atmosphere", Precambrian Research 120 (2003) 81 –100.

14. Deynoux, M., Medjadj, F., Gauthier-Lafaye, F., "Etude se'dimentologique du gisement d'uranium d'Oklo-Okelo-bondo prote'rozo'ique infe'rieur du bassin de Franceville, Gabon. " Internal Report, Centre de Ge'ochimie de la Surface, CNRS, 1993, p. 52.
15. Семихатов М.А., Раабен, М.А., "Динамика глобального разнообразия строматолитов протерозоя". Northern Eurasia, China and India. Stratigraphy and Geol. Correlation 2, 10 –32, 1994.
16. J. Geffroy, "Etude Microscopique Des Minerais Uraniferes D'oklo", Le Phenomene D'oklo, 134-145, 1972.
17. R.J. Chauvet, "Description Du Gisement D'uranium D 'Oklo", Le Phenomene D'oklo, 53-65, 1972.
18. А.К. Круглов, В.А.Пчелкин, М.Ф.Свидерский, Ю.М.Дымков, Г.Н. Мощанская, О.К. Чернецов, "ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ УРАНОВОЙ РУДЫ ИЗ ЕСТЕСТВЕННОГО АТОМНОГО РЕАКТОРА "ОКЛО" (ГАБОН)", Le Phenomene D'oklo, 303-317, 1972.
19. Дымков, Ю.М., "Природа Урановой Смоляной Руды", М., Атомиздат, 1973.
20. Усманова Т.В., "Техногенные минеральные ресурсы юга центральной Сибири: причины формирования, классификация и воздействие на компоненты природной среды", Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, 2014.
21. R.BrosP.StilleF.Gauthier-LafayeF.WeberN.Clauer., "Sm-Nd isotopic dating of Proterozoic clay material: An example from the Francevillian sedimentary series, Gabon", Earth and Planetary Science LettersVolume 113, Issues 1–2, 207-218, 1992.
22. R.Bros, F.Gauthier-Lafaye, P.Stille "Pb systematics on diagenetic clays: an example from proterozoic black shales of the Franceville basin (Gabon)", Chemical GeologyVolume 133, Issues 1–4, 243-250,1996.

**Нормативная литература:**

23. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах" <http://docs.cntd.ru/document/420362948>
24. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы <http://docs.cntd.ru/document/901865498>
25. Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда <http://docs.cntd.ru/document/1200040973>
26. Фролов А.В., Бакаева Т.Н. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда. – Ростов на Дону: Феникс, 2008. – 750 с.
27. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
28. ГОСТ 12.1.018-93 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования.
29. Нормативные документы для утилизации оргтехники <http://pererabotkatbo.ru/pravoartilorgteh.html>
30. ГОСТ Р 55090-2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Рекомендации по утилизации отходов бумаги <http://docs.cntd.ru/document/1200103182>
31. ПП РФ №681 «Об утверждении правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде»
32. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 02.07.2013) Технический регламент о требованиях пожарной безопасности
33. ГОСТ 12.0.003-74 - Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.
34. Конституция Российской Федерации (с изменениями на 21 июля 2014 года)

35. Трудовой кодекс Российской Федерации (с изменениями на 27 декабря 2018 год)

## Приложение А

### Natural fusion reactors of Oklo uranium deposit (Republic of Gabon)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ЛМ71	Габитов Р.В.		

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_

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

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

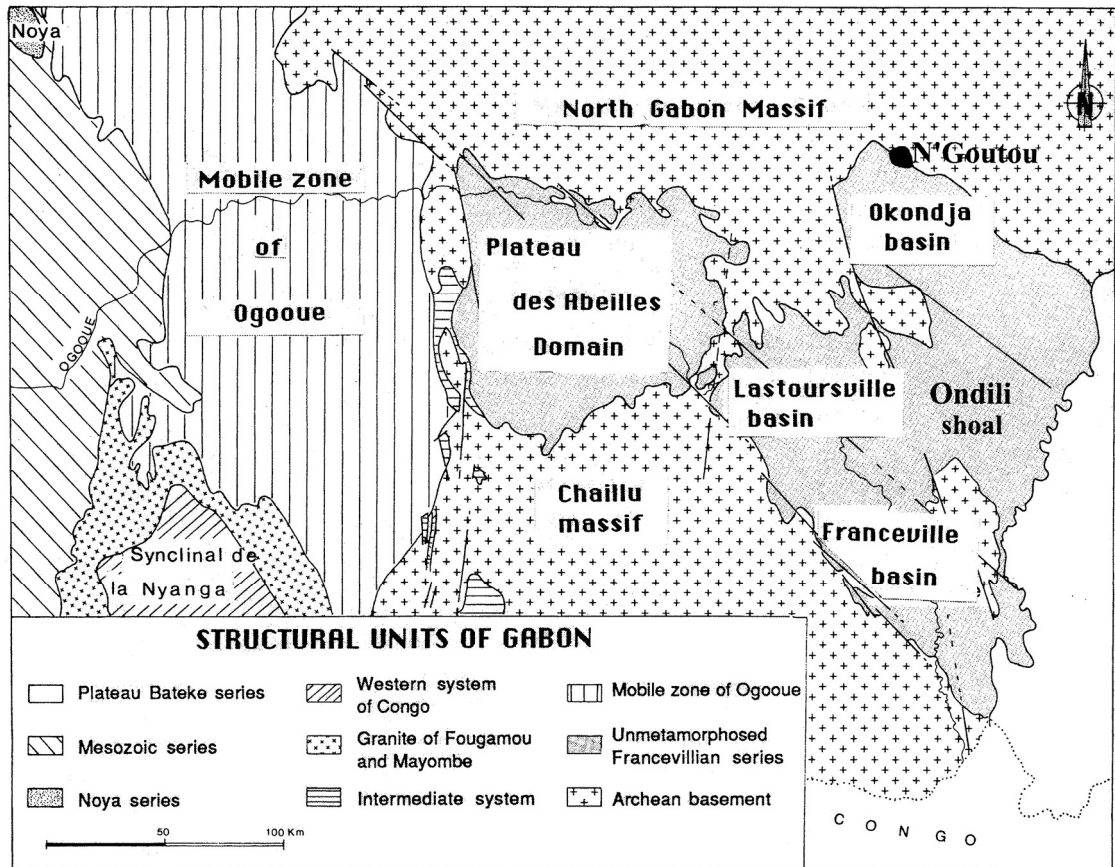
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Уткина А.Н.	д.ф.н.		

## **Introduction**

The natural nuclear fission reactors in Gabon are unique. The possibility that nuclear fission reactions might have occurred in the past was first suggested by Kuroda 1956 but we had to wait until 1972 to discover that such reactions did indeed occur 2.0 Ga ago in the Oklo uranium deposit of the Francevillian Series, Gabon [1]. Other uranium deposits of Proterozoic age in the world [2] do not manifest the characteristic U and REE isotopic anomalies of natural nuclear fission reactions, suggesting that these only occurred in the Paleoproterozoic uranium ore deposits of Gabon. This observation raises the question whether this is fortuitous or due to special geological conditions. This paper points out the main physical and chemical conditions that are necessary to start and to sustain fission reactions in a natural environment and tries to show that most of these conditions are related to the age of the uranium deposits.

## Geological background

The non metamorphic Francevillian Series outcrops in three different intracratonic basins (Fig. 1): the Plateau des Abeilles, the Franceville and the Lastoursville basins. These basins represent the continental platform of a more distal basin, the basin of Okondja.

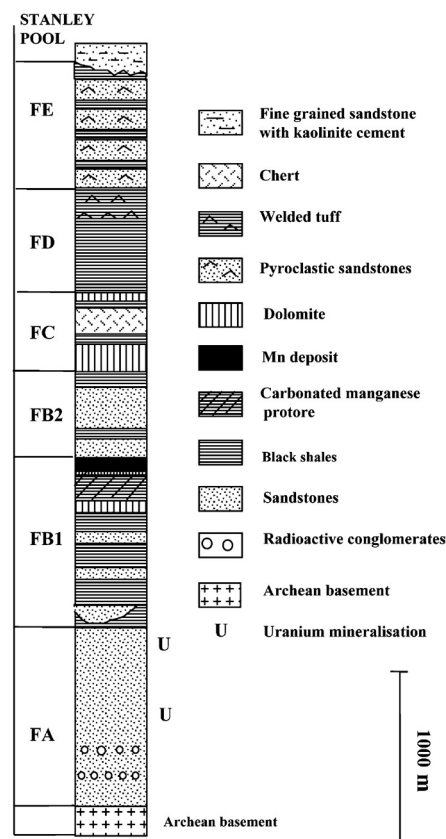


*Figure 1. Schematic structural map of the Francevillian basins.*

The lower formation of the Okondja basin contains basic volcanic rocks (peridotites, basalts, spilites and basaltic tuff) forming greenstones that represent the oceanic crust of an aborted ocean [3]. The mined Mn and U deposits are all located in the Franceville basin and only this basin will be described here. The stratigraphic column of the Franceville basin has been subdivided by Weber (1968) into five formations named from bottom to top FA to FE (Fig. 2).

The FA formation: This formation increases from 100 to 1000 meters in thickness from the edge to the central part of the basin; it contains all the uranium deposits. It consists of fluvatile conglomerates and coarse to medium-grained, poorly sorted sandstones overlain by marine well-sorted sandstones deposited in tidal to

supratidal environments. Coarse, medium and fine-grained sediments form sequences of large horizontal extent. The FA sandstones of the Franceville basin are made of very mature material suggesting that they were affected by many cycles of erosion-sedimentation. Such multicycles allowed the formation of heavy mineral deposits in sedimentological settings such as fluvial placers. At Oklo, the mineralised sandstones (the uppermost 10 meters of the FA Formation) were deposited in a tidal environment of beaches and very large, wide, tidal bars in which coarse, well-sorted sandstones alternate with micaceous, fine-grained sandstones.



**Figure 2.** *Stratigraphic column of the Francevillian Series in the Franceville basin.*

The FA sandstones consist mainly of quartz, muscovite, more or less altered biotites and feldspars (mostly microcline), abundant in the lower fluvial sandstones but rare in the overlying marine sandstones. Heavy minerals such as zircon, thorite and monazite are abundant in conglomerates and coarse sandstones. Types of matrix and cement determine the colour of the sandstone, but it must be noted that well-sorted marine sandstones at the top of the FA formation were cemented by an intense silicification event. Three facies occur in a sequence of red-



, green- and black-coloured sediments [4]. The contact between sediments of different colour is clearly discordant on the bedding, which indicates that the coloration is not of sedimentary origin but was acquired during the diagenetic stage.

The red colour is due to hematite impregnation of the argillaceous matrix; hematite also surrounds the quartz grains between their detrital boundaries and their overgrowth. The argillaceous matrix consists mainly of illite. Ancient detrital biotites and heavy minerals such as monazites and zircons (Mathieu et al., 2000) are highly altered. Biotites are opaque due to the occurrence of fine hematite and titanium oxides inclusions on their surface and have now a muscovite composition. The detrital monazites are altered to a Th-OH silicate with very low concentrations of U and REE, whereas altered zircons show several growth zones enriched in REE, P, Th and U (with TH/U=5 –10) (Mathieu et al., 2000). These red-coloured sediments may contain dolomite and sulfates (anhydrite, gypsum and accessory barite) in the fluvial and tidal environments.

Black sandstones are restricted to the higher levels of the FA formation. Their colour is mainly due to organic matter in pore spaces. This organic matter consists of solidified petroleum (pyrobitumen) that fills the primary and the secondary porosity of the sandstones and the fractures [5] In the primary porosity, organic matter occurs around detrital quartz grains or is trapped in quartz overgrowth. There are two types of black sandstones depending on the alteration of the detrital biotites. The first type contains weakly altered biotites of composition intermediate between biotite and chlorite. The matrix consists mainly of iron-rich chlorite. In the second type of black sandstone, the detrital biotites are altered to a pale colour and resemble muscovites with titanium oxides on their surface. The matrix consists of illite without chlorite and the black colour is due to the presence of organic matter in secondary porosity. The first type of black sandstone is interpreted as sediments that were never oxidised, whereas the second type corresponds to sediments which were first oxidised and then reduced by fluids associated with oil migrations.

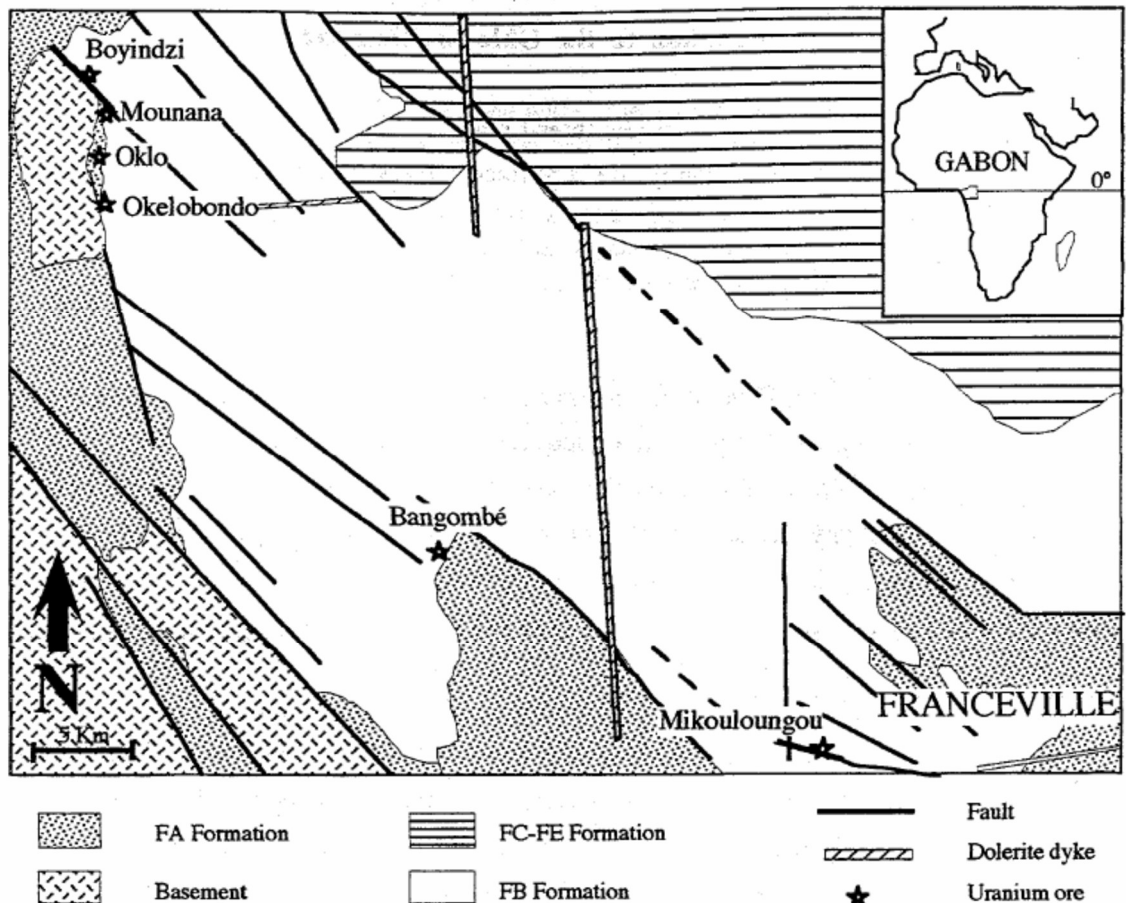
Green sediments are usually located between the red and the black sandstones. They contain highly altered biotites, which look like 'sandwiches' made of flakes of

muscovite and green iron-rich chlorite. The matrix contains both illite and green iron-rich chlorite in varying proportions. In some sandstones, hematite rims remain between the quartz boundary and the quartz overgrowth suggesting that these sediments were originally oxidised. Pyrite accumulations are common in these green sandstones. Pyrite corrodes both the detrital quartz and their overgrowths, and is usually associated with green chlorite. These pyrite accumulations are interpreted as reduced fronts resulting from the flow of reducing fluids through oxidised sediments.

### **The natural fission reactors of Oklo uranium deposit**

The natural fission reactors of Oklo were discovered in 1972. Routine analyses performed in the Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) during the processing of uranium ores coming from the Oklo mine revealed isotopic anomalies

(depletion in  $^{235}\text{U}$ ). Further investigations showed that these  $^{235}\text{U}$  depleted ores were coming from specific zones of the Oklo deposit in which sustained fission reactions occurred about 2 Gy ago. Several of these natural reactor zone (called RZ) which have usually the shape of metric to decametric lenses, were discovered in the Oklo mine and in the nearby Okelobondo site.



*Figure 3: Simplified geological map of the Franceville basin (after Gauthier-Lafaye)*

Most scientific results on the Oklo reactors were obtained during three major projects:

The Franceville Project (1972-1978). The aim was to acquire samples and data from several RZ, to observe local modifications induced by the reactors in the rocks,

to understand and explain the reactor divergence and functioning, to constrain neutronic parameters of reactor cores (Naudet, 1991).

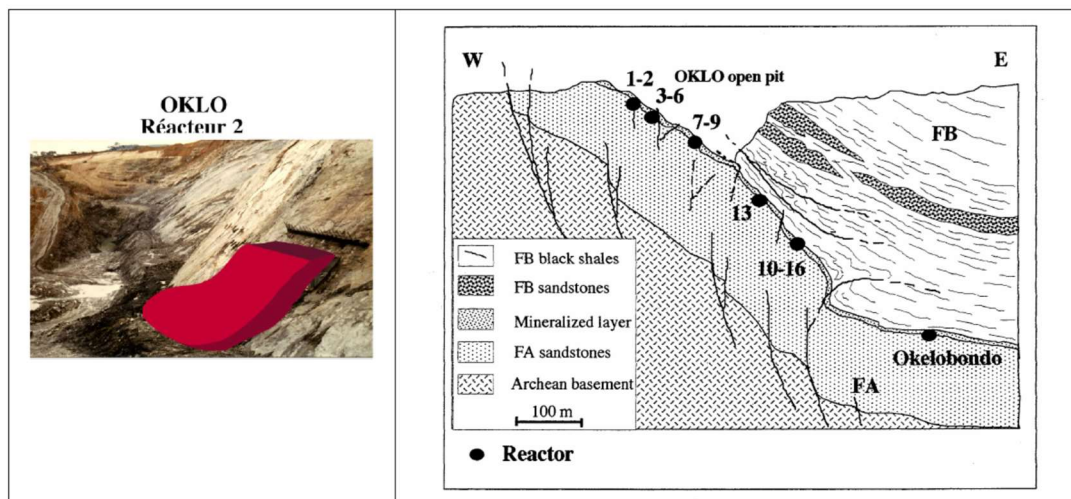
The EC funded Oklo Phase I project (1991-1995). This project was intended to study the Oklo reactors and their environment as analogues for the long term stability of irradiated fuel in a waste disposal and for the migration of uranium and fission products. In this respect, the Oklo Phase I project was focused on samples from RZ 7-9, 10 and 13 and developed hydrogeological characterisation, hydrogeochemical studies and migration modelling in the Oklo, Okelobondo and Bangombé sites [6].

The EC funded Oklo Phase II project (1996-1999). This project was a further step in the use of the Oklo site as an analogue for the migration of radionuclides in a natural environment. Boundary conditions were better constrained by a reassessment of the geological history of the site, leaching experiments of Oklo uraninites were conducted and compared to the leaching of PWR fuel, migration mechanisms were described and modelled, the confinement properties and the stability of uraninites and other mineral phases were evaluated, potential effects of colloids and microbes were explored and an important effort was paid to the modelling of migrations at a large space scale. The Oklo uranium mine definitely closed in year 2000. The reactor zone of Bangombé (see review file for this natural analogue) remains accessible for scientific purposes (the CEA is owner of this RZ).

The Oklo uranium deposit is located on the SW margin of the Francevillian Precambrian sedimentary basin (Haut-Ogouoé, Gabon). The Francevillian series (~2.3 to 2.1 Gy age, 1000 to 4000 m thick) lies unconformably on an archaic crystalline basement (~2.7 Gy age). The Francevillian series is divided into five formations labelled FA at the base to FE at the top. The FA (100-1000 m thick, 400 m in Oklo) is a sandstone and conglomerate horizon (fluvial deposit).

The FB formation (deltaic environment) consists mainly of pelites (black shales) in its lower part and evolves towards sandstones at the top. FC, FD and FE formations are volcano-sedimentary rocks with chert and dolomite intervals.

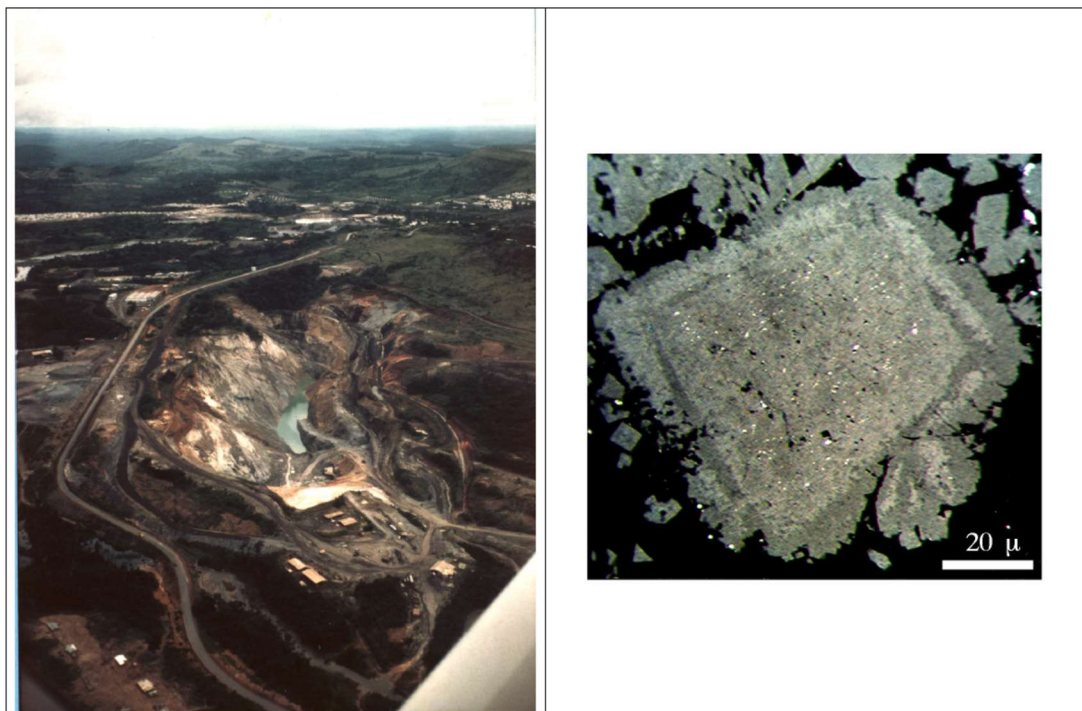
Identified U mineralisations are all located in the FA formation. The Oklo U deposit is located in the ~10 m thick uppermost sandstone level (layer C1) of FA formation, just under the FB pelites. Upon progressive burial of the sedimentary series, organic matter migrated and was trapped in the layer C1, while early diagenetic evolutions affected the sediments (~2.1 Gy, chloritization, illitisation, silicification, max. burial depth of 4 000 m) [4].



**Figure 4:** Left : visual reconstruction of Reactor Zone 2 in the Oklo pit. Right : location of reactor zones along the FA/FB interface. (after Gauthier-Lafaye, CGS, CNRS, Strasbourg)

The basin uplift is thought to have started soon after (~2.05 Gy). The U concentrations occurred when U(VI) bearing fluids met reducing conditions in the oil traps where organic matter accumulated. Soon after (1.97 Gy), conditions for the fission reactions were met in several zones of C1 layer, in which the U concentration ranged from 20 to 60 wt%. This local event is associated with local and intense hydrothermal modifications around reactor zones (desilicification of the sandstones, formation of “Argile de pile” clays, hydrofracturation, collapse of the roofs and walls of the reactor due to mass loss). The local p-T conditions around the reactor zone are in the range of 30 to 40 Mpa and 300 to 400°C (compared to regional temperatures of ~140°C at the depth of interest).

Local redox conditions were also altered by radiolysis. Important but local elemental migrations, affecting actinides and fission products, are associated with the reactor zone function. The duration of reactor operation, based on the recalculated  $^{239}\text{Pu}$  production and other isotopes, ranges from 20 000 to 800 000 y, depending on the reaction zones. Several important events affecting the Franceville basin were then recorded during the continuous uplift of the sedimentary series. In particular, regional episodes of distension at 980 My (dolerite intrusion in Mikouloungou) and 780 My (dolerite intrusion in Oklo) are linked with marked hydrothermal events. The 780 My dolerite dyke in Oklo affected strongly RZ 13, situated at only 15 m of the intrusion and is associated with important elemental migrations. Several other events are recorded in the Franceville basin, in particular the opening of the South Atlantique Ocean. In mine measurements of U depletion in groundwaters and stable isotope data, also evidence that recent water circulations continue to slowly alter the reactor zones.



**Figure 5:** Left : Aerial view of the Oklo pit at the end of the 1990 years.  
Right : Uraninite crystal (Reactor Zone 10) ( after Gauthier-Lafaye, CGS-CNRS,  
Strasbourg)

Summary of the different reactor zones [5]:

Reactor zones numbered 1 to 9 were studied within the framework of the Franceville project and were then mined out, after collection of samples. Reactor 15 was mined out before the start of the EC projects. Organic matter was abundant in reactor zones 7 to 9.

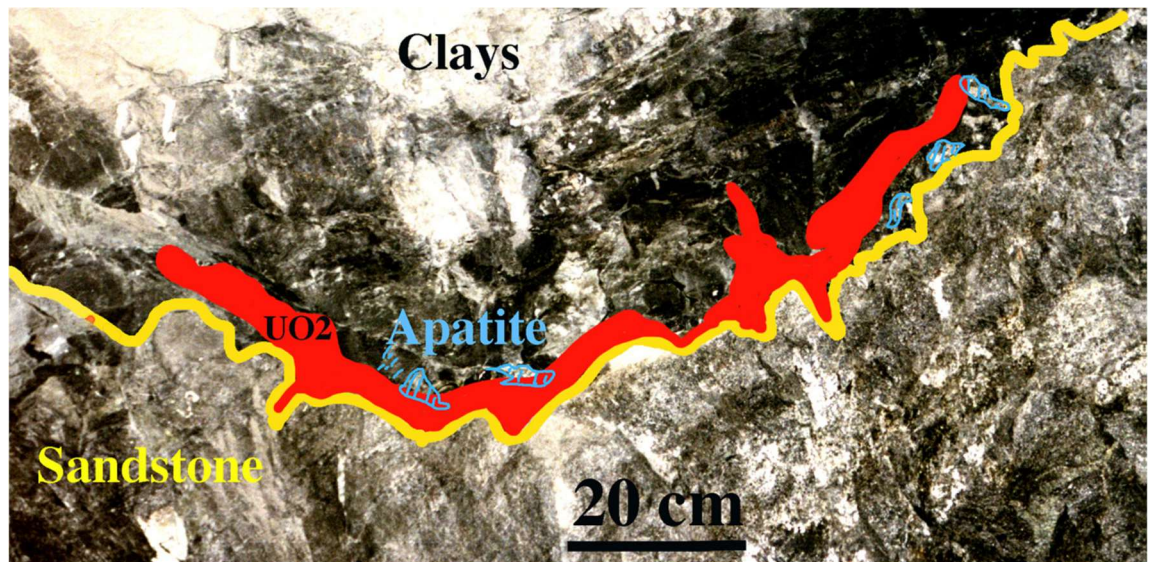
Reactor zones 11, 12 and 14 have not been confirmed after reconnaissance during the mining explorations.

Reactor 10 was one of the most studied reactors. It has the shape of a 15 m width and 30 m length lens. Organic matter is abundant in and around the reactor. The core and the clays are well developed and the top of the reactor collapsed. Apatite crystals were found in the clays.

Reactor 13 is located very close to the dolerite dyke (15 m). The dolerite intrusion perturbed a lot the reactor core and led to important mobilisations of major and minor elements (e. g. sulfur, lead, arsenic,). It is a small reactor zone (6 m width x 15 m length).

Reactor 16 was the last discovered reactor in Oklo ; it has been sampled both on wall-face and by coring.

Reactor OK84 was found in the Okelobondo site, at the south end of the Oklo mine, in the deeper part of the mine. It was recognised by drill-holes. Organic matter has been found in abundance in and around the reactor. Because of his deep location, it has been far less affected by meteoritic alteration than for exemple the RZ9 or the Bangombé reactor.



*Figure 6: Reactor zone 10 (Gauthier-Lafaye, CGS, CNRS, Strasbourg)*

The source term and the analogy with PWR spent fuel:

One of the aim of the initial investigations on the Oklo reactors was to understand how the nuclear fission reaction could start, last sufficiently to affect large zones of the deposit and then eventually stopped. In addition, these investigations were of primary importance to assess, at least qualitatively, mass balances on actinides and fission products. This analysis showed indeed several interesting analogies and differences between “Oklo fuel” and manmade spent fuel [4]:

- comparable initial  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  ratio but less complete nuclear reactions in Oklo than in a PWR (by a factor of 2 to 3); in addition the “burn rate” was far less in Oklo uraninites than in a PWR fuel, leading thus at lower

- association of platinum metals (Pd, Ru, Rh, ...) in metallic aggregates that are similar to insoluble inclusions in modern spent fuel.  $^{99}\text{Tc}$  is shown to have been associated with these aggregates. Mo, Te and Bi are also found in aggregates.

- build-up of large concentrations of radiogenic lead in the Oklo uraninite An important feature of the Oklo reactor zones, is that intense hydrothermal alteration occurred in an around the affected layers, at temperatures up to  $400^{\circ}\text{C}$ . In addition, due to the age of the Oklo event, radioactive fission products and transuranics have totally decayed and the reconstruction of their past migration relies on the



interpretation of mass spectra of their daughters (barium for cesium, xenon for iodine, etc). A recent study of noble gas isotopes trapped in Al phosphates of RZ 13 showed that the Oklo natural reactors worked in a pulsed way, like geysers.

Studies of uraninite have shown that this mineral retained significant amounts of the low solubility and non volatile fission products even under the hydrothermal conditions prevailing while fission reactions were taking place. The preservation of the uraninite themselves was probably favoured by the buffering of redox conditions by organic matter. It occurs as densely packed, up to 1 mm sized idiomorphic and brecciated grains, dispersed in an illitic and/or organic matter matrix. Uraninite has however often been subjected to a partial corrosion and coffinitisation. The lead content varies from about 25 % (in pristine uraninites) to nearly 0 % in partially altered uraninite grain-boundaries. Th, lanthanides and Zr are well retained in the uraninite. Short term laboratory dissolution studies were undertaken on Oklo uraninites providing datasets that are consistent with other similar studies on uraninite or spent fuel.

### **Conclusions**

The mobilisation of uranium in the Franceville basin occurred during diagenesis 1950 Ma ago, as the burial of the FA and FB formations reached 3000 /4000 m. The migration of uranium is related to oxidation of the whole FA reservoir, alteration of the detrital uranium-bearing minerals and precipitation of iron oxides. This requires a complete recharge of the waters circulating in the FA reservoir and, therefore, water oxygenation in contact with the atmosphere. We believe that this event marks a significant increase in atmospheric oxygen. The oxidised uranium precipitated when it came into contact with hydrocarbons concentrated in tectonic traps. The occurrence of oxidation/reduction reactions allowed for the first time the formation of very high grade uranium ore deposits, which led in turn to nuclear fission reactions. If these oxidation–/reduction reactions, related to the presence of oxygen in atmosphere, had occurred subsequently, nuclear fission reactions would not have occurred, because the abundances in fissile uranium 235 were too low after 1950 Ma. Thus, the natural nuclear reactors in the Franceville basin record a unique

interval in Earth's history, which explains the apparent absence of such remarkable phenomena of high U235 transitional redox conditions in older or younger uranium deposits.