## САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ

Молодежная научно-практическая конференция XVI конференция студенческого научного общества «СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ГЕОЛОГИИ»

Санкт-Петербург 2018 Современные исследования в геологии. Сборник тезисов докладов Молодежной научно-практической конференции и XVI конференции студенческого научного общества. — СПб.: Изд-во ВВМ, 2018. —207 с.

ISBN 978-5-9651-1188-6

В сборнике представлены тезисы докладов участников молодежной научно-практической конференции «Современные исследования в геологии». Доклады представлены 26–28 октября 2018 г. в Санкт-Петербурге студентами и молодыми учеными из академических и учебных организаций. Темы докладов освещают актуальные вопросы и задачи, связанные с прикладными и региональными геологическими исследованиями, геологией нефти и газа, физикой и химией минералов, геоэкологией и инженерной геологией, и пути их решения. Материалы сборника демонстрируют современные достижения студентов и молодых ученых в сфере наук о Земле.

Конференция проводится при финансовой поддержке: Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18–35–10037) Института наук о Земле СПбГУ

Все тексты печатаются в авторской редакции

#### ОРГАНИАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

#### Председатель

Аль-Шурай Александр Алиевич

 аспирант, инженер-исследователь кафедры кристаллографии СПбГУ, Санкт-Петербург

#### Заместители председателя

Гончаров Алексей Георгиевич

 — кандидат геолого-минералогических наук., доцент кафедры геофизики ИНЗ СПбГУ, Санкт-Петербург

Ефремова Ульяна Сергеевна

— студент 2 курса магистратуры направления геология ИНЗ СПбГУ, Санкт-Петербург

#### Секретарь

Караман Анастасия Александровна студент 4 курса бакалавриата направления геология ИНЗ СПбГУ, Санкт-Петербург

#### ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Чистяков Кирилл Валентинович	— доктор географических наук, профессор СПбГУ, директор Института наук о Земле, вице-президент РГО, Санкт-Петербург
Худолей Андрей Константинович	— доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой региональной геологии СПбГУ, Санкт-Петербург
Иван Александрович Алексеев	<ul> <li>доцент СПбГУ, кандидат геолого- минералогических наук</li> </ul>
Алексей Ильич Брусницын	<ul> <li>—профессор СПбГУ, доктор геолого- минералогических наук</li> </ul>
Алексей Георгиевич Гончаров	— доцент СПбГУ, кандидат геолого- минералогических наук
Александр Борисович Кольцов	<ul> <li>—профессор СПбГУ, доктор геолого- минералогических наук</li> </ul>
Сергей Владимирович Кривовичев	<ul> <li>— профессор СПбГУ, доктор геолого- минералогических наук, член- корреспондент РАН</li> </ul>
Виталий Владимирович Куриленко	<ul> <li>— профессор СПбГУ, доктор геолого- минералогических наук</li> </ul>
Кирилл Игоревич Лохов	— доцент СПбГУ, кандидат геолого- минералогических наук
Иван Иванович Подлипский	— доцент СПбГУ, кандидат геолого- минералогических наук
Олег Иоханнесович Сийдра	<ul> <li>—профессор СПбГУ, доктор геолого- минералогических наук</li> </ul>
Константин Владиславович Титов	<ul> <li>—профессор СПбГУ, доктор геолого- минералогических наук</li> </ul>
Марина Валентиновна Чарыкова	<ul> <li>—профессор СПбГУ, доктор геолого- минералогических наук</li> </ul>
Сергей Борисович Шишлов	<ul> <li>—профессор СПбГУ, доктор геолого- минералогических наук</li> </ul>

## **Прикладные геологические** исследования

#### ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ ОТ РАЗНОРАЗМЕРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ

М.С. Гинга, М.П. Кашкевич

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, г. Санкт-Петербург, mginga@gmail.com

Метод георадиолокации позволяет выявлять, изучать и локализировать трещины в приповерхностной части ледника [1]. А также при геокрилогических исследованиях [2]. Целью исследования является определение связей между свойствами среды и характеристиками волнового поля радарограмм с помощью деревянной модели с имитацией неоднородностей. Изучение неоднородностей производилось радарами с разными частотами: 500, 900 и 1500 МГц. На радарограмме видно, что максимальная частота примерно равна 450 МГц при том, что в данном случае исследования проводились на радаре с заявленной центральной частотой, равной 900 МГц, это может быть связано с конструктивной особенность георадара, связанной с формой генераторной антенны и ее расположением относительно приемной антенны и уменьшением частоты при прохождении волны через границу сред, в данном случае пенопласта, на котором располагался георадар и воды, которая имеет больший коэффициент поглощения (рис 1).

По полученным данным амплитуд (табл. 1) можно сделать промежуточные выводы о том, что наибольшую потерю амплитуды претерпевает волна с большей заявленной центральной частотой – 1500 МГц

Размер	500 МГц		900 МГц		1500 МГц	
неоднородностей	Прям.	Отр.	Прям.	Отр.	Прям.	Отр.
Омм	272	292	441	415	798	545
50мм	259	272	447	415	837	292
100мм	279	292	441	415	869	564
200мм	272	292	447	415	856	584
Омм	272	292	441	415	798	545

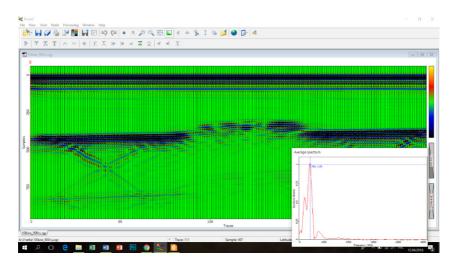


Рис. 1. Вид радарограммы в программе Prism2.5.

Также было посчитано отношение амплитуд прямой волны к отраженной для каждого типа неоднородностей, по полученным значениям выявлено, что максимальное отношение амплитуд прямой волны к отраженной соответствует точкам 100 мм неоднородностей. Это объясняется тем, что, вероятно, волна более чувствительна к изменению высоты неоднородностей, чем к их горизонтальным размерам. Были получены и частотные характеристики сигналов (табл. 2), по которым сделаны выводы о больших потерях частоты по сравнению с заявленной центральной частотой радаров, это может объясняться

Таблица 2 Значения частот

Размер неоднородностей	500 МГц		900 МГц		1500 МГц	
	Прям.	Отр.	Прям.		Прям.	Отр.
200 мм	9868,08	6496,05	6622,93	200 мм	9868,08	6496,05
100 мм	9443,50	4532,72	7221,72	100 мм	9443,50	4532,72
50 мм	8989,19	5326,30	6883,75	50 мм	8989,19	5326,30
Прям/Отр	1,52	4,26	35,22	Прям/Отр	1,52	4,26
	2,08	6,52	59,48		2,08	6,52
	1,69	6,19	58,07		1,69	6,19

большим коэффициентом поглощения у воды. Было выявлено, что для радара с центральной частотой 500 МГц волны после отражения имеют большую частоту, чем до. Это явление пока необъяснимо, так как низкие частоты должны поглощаться меньше, чем высокие. Также сделаны выводы, что антенна 1500 МГц более чувствительна к неоднородностям, чем остальные.

#### Заключение

В результате проделанной работы были выявлены некоторые закономерности между свойствами среды и характеристиками волнового поля. Особенности поведения отраженных волн могут быть связаны с тем, что в качестве исследуемых объектов были выбраны деревянные модели, которые могли по-разному впитывать в себя воду. Также, предполагается, что электромагнитные волны более восприимчивы к изменению высоты неоднородностей, чем к изменению их размеров. Исходя из этого, в следующих исследованиях будут учтены все особенности, выявленные при постановке эксперимента.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-05-00579-A.

#### Литература:

- 1. Попов С. В., Поляков С. П. «Криосфера Земли» 2016 г.
- 1. Судакова М. С., Садуртдинов М. Р., Малкова Г. В., Скворцов А. Г., Царев А.М. «Применение георадиолокации при комплексных геокрилогических исследованиях». Научный журнал «Криосфера Земли», 2017 г.

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА РЕКОНСТРУКЦИИ НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ Л.А. СИМ

<u>Н.</u> А. <u>Гордеев</u> $^{1}$ , А. Б. Молчанов $^{2}$ 

<sup>1</sup>Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва, 123242, ул. Бол. Грузинская, д. 10, стр.1

<sup>2</sup>Московский Государственный Университет имени М. В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

gord@ifz.ru

#### Введение

Создание программного пакета основано на идее автоматизации и модернизации структурно-геоморфологического метода реконструкции сдвиговых тектонических напряжений Л. А. Сим (СГМ) [5].

В методе используются статистические данные о неотектонических напряжениях, которые восстанавливаются по взаимоотношению [1] множественных линеаментов, лежащих в горизонтальной плоскости — мегатрещин.

#### Описание программного пакета

Программный пакет реализован на языке программирования Python для целевой платформы Windows с разрядностью 32 и 64 бита. Основой решения задачи автоматизации СГМ метода Л. А. Сим является анализ линеаментов на космо-снимках рельефа, топо-картах и пр.

Предлагаемый способ автоматизации СГМ метода Л. А. Сим производит анализ и классификацию разломов по конкретным областям карт, принимая во внимание линеаменты определённых типов. Данный способ состоит из трёх этапов: на первом этапе производится дешифрование необходимых линеаментов, на втором — поиск и измерение углов между соприкасающимися линеаментами, на третьем — классификация по М. В. Гзовскому [1, 2]. Выделение линеаментов может быть выполнено как вручную (путём нанесения векторных фигур на участок спутникового снимка или наложения готовой схемы), так и автоматически при помощи алгоритма скелетизации карты высот.

На следующем этапе применяется процедура поиска т.н. особых точек на скелетизованном изображении или нанесённой вручную векторной маске.

Далее в точках пересечения прилегающих линеаментов и линии разлома производится измерение острых углов.

Для тестирования был выбран регион Лено-Оленёкского междуречья. Территория тестирования приурочена к северо-востоку Сибирской платформы [3, 4].

#### Обсуждение и выводы

В целом, проведённое тестирование следует считать успешным, поскольку большая часть исследуемых разломов (21/25) была правильно классифицирована.

Необходимо улучшить или заменить медианный фильтр, поскольку, как оказалось, при больших значениях радиуса размытия на бинаризованном изображении появляются артефакты в виде «рваных краёв», что при скелетизации приводит к появлению дополнительных мелких штрихов, затрудняющих дешифрование линеаментов. Следует автоматизировать построение маски области динамического влияния. Стоит реализовать одновременную или поочерёдную обработку нескольких разломов на одной карте в одном сеансе работы программы. Есть и другие аспекты.

Таким образом, к настоящему моменту было создано и успешно протестировано программное средство, позволяющее автоматизировать СГМ метод Л. А. Сим и значительно ускорить работы по определению неотектонических напряжений этим методом.

#### Литература:

1. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. М.: Наука. 1975. 375 с.

- Гзовский М. В. Тектонические поля напряжений // Изв. АН СССР, серия геофиз. 1954. № 5. С. 390–410.
- Гордеев Н. А. Тектонофизический анализ линеаментов Оленекского поднятия //Четвертая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Материалы докладов всероссийской конференции — в 2-х томах. Т. 1.М.: ИФЗ, 2016.С. 48–52.
- 4. Гордеев Н. А., Сим Л. А. Комплексный подход изучения новейшей геодинамики, основанный на геологических и тектонофизических методах // Воздействие внешних полей на сейсмический режим и мониторинг их проявлений: Тез.докл. Междунар. Юбилейной науч. Конф., г. Бишкек, 3—7 июля 2018 г. с. 169—173.
- 5. Сим Л. А. Изучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам (методы, результаты, рекомендации). Изв. ВУЗов. геол. и разв. 1991, № 10. С. 3–22.

#### ПОДДЕРЖКА СТУДЕНЧЕСКИХ РАБОТ В ОБЛАСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДАМИ ARCGIS

<u>А. В. Евдокименко<sup>1,2</sup></u>, А. Ю. Сергеев<sup>2</sup>, А. Н. Сукнотова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9
<sup>2</sup>Всероссийский Научно-Исследовательский Геологический Институт имени А. П. Карпинского, 199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74

anton\_evdokimenko@vsegei.ru

Интенсивное развитие геологии привело к созданию жесткой системы отчетов в геологических работах. Ситуация разворачивается таким образом, что, только получив объект, уже необходимо предоставлять отчет о работе над ним. Еще на предполевом этапе необходимо провести комплексный анализ выбранного объекта от литературного обзора и изученности до создания карт из имеющихся данных с последующей интерпретацией результатов и написанию первых заключений о нем. Такая тенденция отчетливо прослеживается как на уровне студенческих работ, так и на уровне Государственной геологической съёмки. И если этап литературного обзора и изученности составляет лишь временные затраты и отличается кропотливостью, то создание карт, получение из них результатов, формулировка выводов является сложной идейной геологической работой.

Развитие геоинформационных систем и внедрение их в геологию открывают новые возможности анализа территории объекта из доступных данных и способны во многом облегчить работу геолога. Однако, при выполнении именно студенческих дипломных работ, посвященных геологическим исследованиям, недостаточно внимания уделяется ГИС-анализу территории объекта.

Наиболее частыми ошибками при выполнении таких работ являются: некорректное разбитие сети пробоотбора, пробелы в геологических структурах, слабая интерпретация результатов аналитики. Например, используя нерегулярную сеть или сильно разряженную регулярную

сеть, возрастает риск установить точку отбора пробы в неинформативном участке. Фактический материал из таких участков делает последующий пробоотбор и геохимические анализы бесполезными. То же самое и на этапе интерпретации результатов. Например, выделение геохимических аномалий без анализа рельефа приводит к искажению реальной геохимической обстановки района, затрудняет определение миграций химических элементов, геохимических барьеров, источников загрязнения и т.д.

Целью данной работы является обзор наиболее важных инструментов ГИС-анализа в программной среде ArcGIS, которые значительно способствуют увеличению точности планируемых работ и интерпретации результатов при геологических исследованиях.

Основой для ГИС-анализа территории объекта является рельеф. Рельеф является основой для геологических карт. Во многих случаях именно по рельефу можно считать различные геологические данные. Поэтому первым шагом в анализе территории объекта должно быть создание цифровой модели рельефа. Наземный рельеф или рельеф морского дна для исследуемой территории можно создать, на основе данных, которые находятся в свободном доступе. Для создания наземного рельефа потребуются отметки высот и изолинии рельефа, которые находятся на физических картах. Кроме того, шейп-файл с изолиниями можно получить при обработке программным модулем данных со съемки квадрокоптера. Для рельефа морского дна потребуются отметки глубин и изобаты, которые наиболее подробно встречаются на морских навигационных картах. Снятые данные необходимо оцифровать для дальнейшей интерполяции. Созданная в результате интерполяции карта цифровой модели рельефа является ГРИДом. Для такого типа данных в ArcGIS существует целый арсенал инструментов, который крайне полезны в геологии. Открываются возможности построить объёмную модель рельефа (рис. 1), построить схему, отображающую уклоны поверхности, карту отображающую ориентировку уклонов, выделить дренажные бассейны, направления стока, обозначить отдельные группы рельефа (рис. 1), построить разрез, рассчитать трансформацию берегов и многое другое.

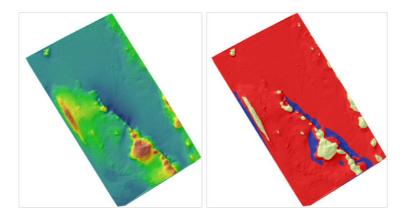


Рис. 1. Пример анализа рельефа дна с применением метода BPI, ArcGIS. Выделенные полигоны на правой карте существенно уточнили литологическую и четвертичную карты

Таким образом, основываясь лишь на топографических данных, которые можно получить из открытых источников, методами ГИС-анализа цифровой модели рельефа можно получить различные схемы, с важной геологической информацией. Полученные схемы можно напрямую использовать как при проектировании работ, так и при интерпретации результатов.

### ПОСТРОЕНИЕ СКОРОСТНОЙ МОДЕЛИ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ ЛУЧЕВОГО ТРАССИРОВАНИЯ ОТРАЖЕННЫХ И ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН

#### А. А. Кудинов

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 <a href="mailto:artem.kudinov@gmail.com">artem.kudinov@gmail.com</a>

В настоящее время при проведении сейсмической разведки глубинно-скоростные модели среды строятся по данным многократных перекрытий с использованием отраженных волн. Вместе с тем есть ряд задач, при которых целесообразно расставлять сейсмические донные станции по разряженной сети наблюдения (5–10 км). В таких случаях построение глубинно-скоростной модели (ГСМ) осуществляется иным способом, при котором одновременно используются и отраженные и преломленные волны. Изучение такого подхода является целью данной работы.

Лучевое трассирование используется в методе преломленных волн в модификации глубинного сейсмического зондирования (МПВ-ГСЗ) при кинематической обработке данных. Весь процесс МПВ-ГСЗ можно разделить на три этапа:

- 1) предварительная обработка сейсмических записей;
- 2) динамическая обработка сейсмограмм зондирований;
- 3) кинематическая обработка годографов (времен прихода волн).

Кинематическая обработка данных осуществляется с использованием годографов волн. Кинематическая обработка предусматривает решение следующих двух задач:

- 1) корреляция и считывание времен прихода волн (прямых, преломленных, отраженных);
- построение ГСМ, содержащих геометрию границ (отражающих и преломляющих), а также распределение скорости распространения сейсмических волн.

Основные возможные подходы в построении ГСМ: решение прямых кинематических задач: параметры модели подбираются таким образом, чтобы рассчитанные для нее времена прихода волн совпали с наблюденными временами; этот метод получил широкое применение в мире под названием лучевого трассирования; решение обратных кинематических задач: по заданным временам прихода волн определяются параметры модели; сейсмотомографический подход, основанный на уточнении начальной скоростной модели среды путем минимизации разницы времен прихода волн для этой модели и наблюденными данными. Данный подход является обобщением подходов 1 и 2, так как включает в себя как решение прямой, так и решение обратной кинематической задачи. В рамках данной работы будет разобран первый подход, то есть метод лучевого трассирования.

Лучевое трассирование волновых полей является распространенным и общепризнанным способом проверки сейсмических разрезов ГСЗ, решением прямой задачи. Интерактивный подбор модели с сопоставлением теоретических годографов, рассчитанных для модели, и реально наблюденных сейсмических записей позволяет уточнить геометрию границ и скоростные характеристики модели.

В работе  $\Gamma$ CM задается последовательностью горизонтальных слоев, разделенных плоскими границами. Скорость в каждом слое постоянна.

Трассирование лучей в ГСМ осуществляется путем численного решения дифференциальных уравнений первого порядка, описывающих лучи в соответствии с законами геометрической сейсмики. Суммарное время пробега волны вдоль луча определяется путем численного интегрирования по его траектории.

Если рассматривать двухслойную модель среды, то идея метода заключается в последовательном моделировании среды "сверху-вниз" и последующем лучевом трассировании. При этом последовательность действий следующая (рис. 1): определение годографа прямой волны с целью нахождения скорости волны в первом слое; определение годографа первой отраженной волны с целью нахождения мощности первого слоя; определении годографа первой преломленной волны с целью нахождения скорости распространения волны во втором слое;

определение годографа второй отраженной волны с целью нахождения мощности второго слоя; определении годографа второй преломленной волны с целью нахождения скорости распространения волны в третьем слое.

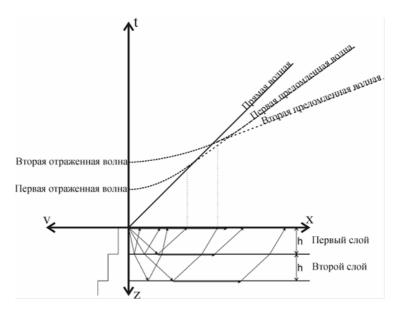


Рис. 1. Пример двухслойной среды для объяснения идеи метода

Скорость по преломленным границам определяется в предположении, что заданная модель является горизонтально слоистой, а скорости волн имеют постоянное значение в слоях. Таким образом, кажущаяся скорость преломленной волны будет равна скорости в подстилающем слое.

Таким образом, данная методика широко используется при различных геолого-геофизических задачах, в частности на акваториях. Примерами таких задач являются: изучение газогидратов (скорости распространения разных типов волн, их характеристик и глубины залегания газогидратов), расположенных на дне акватории в прибрежной зоне штата Орегон, США [2] и исследование зоны сочленения поднятия Менделеева и Чукотской складчатой области с целью построения сейсмогеологического и комплексного геолого-геофизического разреза [1].

#### Литература:

- 1. Сакулина Т.С. и др. Комплексные геолого-геофизические исследования на опорном профиле 5-AP в Восточно-Сибирском море // Разведка и охрана недр. 2011. Т. 10. С. 17–23.
- 2. Kumar D., Sen M. K., Bangs N. L. Seismic characteristics of gas hydrates at Hydrate Ridge, offshore Oregon // Lead. Edge. 2006. T. 25. № 5. C. 610–614.

#### ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ И ИХ ОБНАРУЖЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

#### С. А. Маркова

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 st048874@student.spbu.ru

В данной работе рассматриваются общие сведения о газогидратах, а так же применение методов сейсморазведки при их поисках и общая интерпретация получаемых данных, на примере газогидратоносности Антарктических акваторий.

Газовые гидраты представляют собой соединения молекул воды, удерживаемых водородной связью и образующих кристаллические ячейки, включающие в себя молекулы газа. Природные газогидраты имеют различную форму и являются метаустойчивыми минералами [3]. Технологии определения местонахождения газогидрата основаны на ряде его физических свойств, к которым относятся: высокие значения акустической проводимости и электросопротивления, пониженная плотность, низкая теплопроводность и проницаемость для молекул газа и воды.

При поисках залежей газогидратов и уточнении границ их распространения используются комплексные методы исследований, в том числе геофизические, что позволяет делать более точные прогнозы местонахождения данных ресурсов. Для обнаружения газогидратоносных акваторий наиболее используемым методом является сейсмическое зондирование двух типов: стандартное (частота 30–120 Гц, разрешающей способностью до 12–24 м) и высокочастотное (250–650 до 1200 Гц и 1–2 м соответственно). На региональном этапе поисков используется МОВ-ОГТ. В результате данного метода мы получаем такие объекты, как LDR-границы, VAMPs (velocity-amplitude anomalies) аномалии, расположение структурных элементов — возможных коллекторов, а также сейсмическую отражающую границу BSR (Воttот Simulation Reflector), однако стоит отметить что последний указанный вид сейсмической границы может быть обусловлен не только залежами

гидратов, а также отсутствовать при определенных обстоятельствах [4].

Практически во всех осадочных бассейнах континентальной окраины Восточной Антарктики в подножии континентального склона (на глубине 400–600 м ниже морского ложа) были выявлены отражения, которые в целом параллельны морскому дну и секут внутренние стратиграфические границы, т.е. границы BSR. Бурением было доказано, что эти отражения относятся к диагенетическим разделам, которые в разрезе представляют собой цикл маломощных кремнистых прослоев вблизи глубинных поверхностей тектонического срыва, и, которые связаны с кремнистым диагенезом (переходом опала «А» в опал «СТ»). Скважина 1165, пробуренная в подножии континентального склона (глубина воды 3548 м) вскрыла 1000 м раннемиоценовых — четвертичных боковых наносов, отлагавшихся в борту долгоживущего подводного канала [1]. Согласно полученным данным на глубинах 500–650 м отмечаются диагенетические преобразования кремнистых осадков, которые на глубине 612 м ниже уровня дна фиксируется горизонтом BSR.

Однако стоит отметить, что на территории Антарктики все же в малых количествах присутствуют газогидраты, маркируемые границей BSR. К таким районам относятся западная часть моря Росса и пролив Дрейка, около Южных Шетландских островов [2].

Таким образом, при интерпретации сейсмических данных необходимо различать отражающие границы BSR, связанные с наличием газогидрата, от границ, обусловленных другими факторами ее формирования. Прежде всего стоит обращать внимание на полярность полученного отражения. При регистрации границы перехода опала-А в опал-СТ мы получим во-первых, в отличие от границы BSR для газогидратов, сейсмический импульс той же полярности, что и отражение полученное от морского дна, во-вторых данная граница будет выявляться на значительных поддонных глубинах. Кроме того кремнистые осадки не будут образовывать аномалии «яркого пятна» на сейсмограммах.

Помимо этого, чтобы понять могут ли находиться в пределах границы BSR данной скважины залежи газогидратов, мы можем рассчитать для нее термобарические условия и соотнести полученные значения с диаграммой зоны стабильного существования газогидратов, тем

#### самым придавая большую точность сейсмическим данным.

#### Литература

- Cooper, A. K., O'Brien, P. E., 2004. Led 188 synthesis: transitions in the glacial history of the Prydz Bay region, East Antarctica, from ODP drilling. In Cooper, A. K.., O'Brien, P. E., and Richter, C. (Eds.), Proceedings of Ocean Drilling Program, Scientific Results Volume 188,1–42 [Online].
- Emanuele Lodolo, Angelo Camerlenghi, Gianni Madrussani, Umberta Tinivella and Giuliana Rossi. Assessment of gas hydrate and free gas distribution on the South Shetland margin (Antarctica) based on multichannel seismic reflection data// Geophys. J. Int. 148, 2002, 103–119.
- 3. Макогон Ю. Ф. Природные газогидраты: распространение, модели образования, ресурсы.// Рос. Хим.ж.(Ж. Рос.хим.об-ва им. Д.И. Менделеева), 2003, т.XLVII, № 3.
- Лейченков Г. Л. Отчет о научно-исследовательской работе по базовому проекту 08-H1-03 «Разработать научно-аналитическое обеспечение изучения и освоения минерально-сырьевых ресурсов Арктики, Антарктики и Мирового океана», Том 3, книга 1, Регистрационный номер НТПр 01423916-08-H1-03-3.

#### РОССЫПНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ВЕРХНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ МОРСКИХ ПЛЯЖНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАССЕЙНА РЕКИ ЛОТТА (МУРМАНСКАЯ ОБЛ.)

Д. Д. Мыца<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ООО «ЛИМС».

199106, Санкт-Петербург, 24-я линия В.О., 3-7 <sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9. st031264@student.spbu.ru

Предметом изучения в данной работе являлись фракции минералов, полученные при тяжёлосредном обогащении (плотность т/ж 2,9 г/см³) лимно- и флювиогляциальных, морских пляжных и аллювиальных отложений бассейна реки Лотта.

Тяжёлые фракции были классифицированы по размерам частиц классов +315, +160, +71 и -71 мк. В результате количественного фазового анализа проб каждого гранулометрического класса по данным полнопрофильного анализа методом Ритвельда установлены следующие минералы: гранаты альмандин-пиропового ряда, кварц, силлиманит, рутил, ильменит, плагиоклаз, К-Na полевой шпат, диопсид, хлорит, биотит, Са-амфибол, редко тальк, пирит и каолинит.

Изучая распределение минералов по гранулометрическим классам четырёх проб, были выявлены различные закономерности, наиболее значимыми являются:

- 1) концентрация граната в классах –800+71мк (широкий диапазон);
- 2) рутила в классах +160 и + 71 мк (особенно в последнем), также концентрируется силлиманит;
- 3) кварц, полевые шпаты, хлорит, диопсид, биотит преимущественно в классе -71 мк.

Весьма распространённым минералом-полезным ископаемым россыпных месторождений является гранат. Из отложений долины р. Лотта это слабоокатанные изометрические зёрна розовато-фиолетовых и коричнево-красных цветов. Средний размер граната из тяжёлых фракций равен 0,44 мм, максимальные размеры 0,6 мм — 1,2 мм; во фракции от 0,8 до 0,071 мм находится около 92% минерала. Гранат принадлежит к промежуточным разностям ряда альмандин-пироп. Рутил, как преобладающий минерал-спутник при разработке россыпных месторождений, представлен вытянутыми чёрными зёрнами с просвечивающей красноватостью.

Район бассейна реки Лотта расположен в южной части Лапландской подзоны Лапландско-Колвицкой зоны гранулитов Сальнотундровского метаморфического комплекса, вблизи ее границы с Беломорским блоком. Среди горных пород здесь распространены гранат-биотитовые гнейсы с силлиманитом (кислые гранулиты), пироксен-плагиоклазовые кристаллосланцы, а также гранат-пироксен-плагиоклазовые и гранатовые амфиболиты. Сравнительный анализ состава тяжёлых фракций россыпей долины р. Лотта и сравнивая его с составом метаморфических пород фундамента района свидетельствует о формировании минералов этих фракций в непосредственной близости от материнских пород. Результаты исследования во многом схожи с результатами [1], полученными при изучении россыпного проявления граната Явр долины реки Яури-йоки, которое находится в похожих с Лоттой геологических условиях.

Автор статьи выражает благодарность своему научному руководителю — доценту, к.г.-м.н. С.В. Петрову.

#### Литература:

1. Мыца Д.Д., Мельникова В.А. Минеральный состав четвертичных отложений бассейна реки Яури-йоки.— Сборник статей по итогам научно-практической конференции «Современные исследования в геологии», СПбГУ, СПб, 2015 г.— 206 с.

Работа выполнена при поддержке проекта № 103–8836 РЦ «Рентгенодифракционные методы исследования» СПбГУ и проекта «Лотта» ООО «ЛИМС»

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОПУТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ БАКЧАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОСАДОЧНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

М. А. Рудмин, И. В. Рева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Томск, проспект Ленина, 30 rudminma@tpu.ru

Железные руды осадочного генезиса имели высокую промышленную значимость в прошлые эпохи. В современное время они по своим качествам существенно уступают эндогенным рудам. Минеральный состав и высокие концентрации вредного для стали фосфора в осадочных железняках снижают технологические свойства этих руд, а следовательно повышают затраты на их освоение. При этом запасы железа подобных месторождений на порядок превышают месторождения эндогенного типа. Ярким примером является Бакчарское месторождение оолитовых железняков, ресурсы которого оцениваются в 28 млрд. тонн, что соответствует группе уникальных объектов [1, 2]. Открытому еще в середине прошлого столетия месторождению было пророчено большое будущее для обеспечения Западно-Сибирского металлургического комбината, однако сложные инженерно-геологические условия, низкие содержания железа и высокая примесь фосфора послужили основными барьерами на пути его освоения и оставили месторождение в числе резервистов.

Авторская работа охватывает фундаментально-прикладные вопросы о ценности и геологических особенностях Бакчарского месторождения как уникальной осадочной последовательности высокожелезистых пород, сформированной в течении порядка 50 млн. лет на рубеже мезозоя и кайнозоя (от сеномана до эоцена). Разрез месторождения представляется собой толщу пород прибрежно-морских фаций: алевролитов и песчаников с глауконитом и горизонтами оолитовых железняков. Цель работы заключается в изучении вмещающих толщ Бакчарского месторождения для оценки и обоснования их практической ценности.

В пределах месторождения глауконитовые породы залегают на глубинах 180–230 м и состоят из глауконита, кварца, микроклина, гетита и шамозита. Высокое и умеренное содержание К<sub>2</sub>О (от 4.0 до 7.3%) и умеренное Fe<sub>2</sub>O<sub>3(total)</sub> (от 20.4 до 32.8%) характеризуют наиболее зрелый глауконит (так называемый «неизмененный [3]). Содержание  ${\rm K_2O}$  и  ${\rm Fe_2O_{3(total)}}$  глауконита с меньшей степенью зрелости за счет вторичных изменений (ожелезнение) варьирует в пределах 2.6-5.5% и 31.1-49.8%, соответственно. В разрезе Бакчарского месторождения выделяется три основные разновидности глауконит-содержащих пород с концентрацией глауконитовых гранул выше 10% [4]. Глауконититы (или глауконитолиты») характеризуются содержанием глауконита 58.4%. К<sub>2</sub>О в этих породах составляет 4.1% (среднее), что является наивысшим показателем среди других разновидностей. В глауконитовых песчаниках доля глауконита составляет 25.7%, а также доля кварца и полевых шпатов — 37.8%. Концентрация К<sub>2</sub>О в этих породах — 3.1%. Глауконит-шамозитовые ооидовые железняки характеризуются следующим составом: глауконит — 24.6%, шамозитовые ооиды — 22.8%, терригенные компоненты (кварц и полевые шпаты) — 21.6%. Среднее содержание К<sub>2</sub>О в них находится на уровне 2.5%. Химический состав глауконитовых пород характеризуется концентрациями тяжелых металлов (Co, Ni, Zn, Mo, Cd, Pb, As) ниже предельно допустимых концентраций в почвах.

Агрохимические опыты показали, что глауконитовые породы (особенно глауконитолиты) и их концентраты оказывают стимулирующий эффект на рост овса обыкновенного (*Avéna satíva*). Общие ресурсы глауконита Бакчарского месторождения составляют более 800 млн.т. Месторождение можно считать крупнейшей сырьевой базой для производства калийных минеральных удобрений на основе глауконита, а также материалов для создания других инновационных продуктов.

Песчанистые алевролиты туронского возраста приурочены к подошве ипатовской свиты. Эти отложения отличаются в разрезе месторождения по аномально высоким значениям магнитной восприимчивости (113.4–295.7·10<sup>-5</sup> ед.Си.). Среднее содержание магнитных минералов в этих породах составляет 15.2%. По данным рентгенодифракционного анализа магнитной фракции пород содержание магнетита

составляет 40.3%, ильменита — 37.6%. Ресурсы магнетита и ильменита по 13 пересечениям в пределах западного участка месторождения около с. Бакчар (площадь 3 км²) составляют около 2.75 млн. т при среднем содержание магнитных минералов в пределах пласта 15.2%.

#### Литература:

- 1. Западно-Сибирский железорудный бассейн. Новосибирск: СО РАН СССР, 1964. 448 с.
- Мазуров А.К. и др. Перспективы освоения Бакчарского железорудного месторождения, Томская область // Руды и металлы. 2006. Т. 2. С. 64–70.
- 3. Rudmin M., Banerjee S., Mazurov A. Compositional variation of glauconites in Upper Cretaceous-Paleogene sedimentary iron-ore deposits in South-eastern Western Siberia // Sedimentary Geology. 2017. Vol. 355. P. 20–30.
- 4. Rudmin M. et al. Economic potential of glauconitic rocks in Bakchar deposit (S-E Western Siberia) for alternate potash fertilizer // Applied Clay Science. 2017. Vol. 150. P. 225–233.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области (грант 16–45–700090).

#### ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА МНОГОВОЛНОВОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ

#### В. А. Токарев

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 tokylad7@gmail.com

В сейсморазведке, в зависимости от типа волн, используются такие основные методы, как: метод отраженных волн (с его модификацией метод общей глубинной точки), метод преломленных волн, метод проходящих волн. Данные методы являлись приоритетными для решения поисковых и разведочных задач на протяжении долгих лет. Однако требования, предъявляемые к сейсмическому методу, ужесточаются с целью повысить эффективность геологоразведочных работ. Становится понятным, что однокомпонентные методы дают неполную информацию о геологической ситуации, что ведет к потенциальным потерям. В последнее время повысился спрос на многоволновую сейсморазведку (МВС). МВС — комплексный подход к изучению на одном и том же профиле наблюдений монотипных продольных Р и поперечных волн разной поляризации SH и SV, а также обменных волн PS, что позволяет получать дополнительную информацию о скоростях, о соотношении скоростей продольных и поперечных волн, и, соответственно, о коэффициенте Пуассона. Кроме того, повышенной информативности метода решаются не только структурные задачи, но и задачи расчленения литологии, обнаружения и оценке флюидов. [1]

МВС включает в себя несколько особенностей. Одна из них связана с тем, что при МВС используют многокомпонентную регистрацию, поэтому необходимо учитывать ориентацию горизонтальных компонент, приводя к единой линии профиля. Определяют ориентацию радиальной компоненты элементов регистрации от пункта возбуждения (ПВ) на пункт приема (ПП) и направленность возбуждения упругих колебаний. Это делается с целью приведения к единой системе, где источник

и приемник ориентированы одинаково. [2] Вторая особенность заключается в несимметричности лучевой схемы. МВС включает в себя, как говорилось ранее, работу с обменными волнами, которые обладают недостатком перед монотипными волнами в виде несимметричности лучевой схемы, что не позволяет использовать ОСТ (общую срединную точку), полученную для годографа Р-волны, в качестве ОСТ для S-волны. Кроме того, имеется влияние верхней части разреза, который представлен рыхлыми отложениями, т.е. зоны малых скоростей (3МС). Маленькие скорости сильно влияют на времена прихода волн. Более сильное влияние ЗМС оказывает на поперечные волны, то есть на обменные в нашем случае, чем на продольные. Именно поэтому при обработке полученных волн вводят различные поправки, которые учитывают ориентацию X компоненты, неоднородность верхних частей разреза, несимметричность падающих и отраженных лучей. Все это усложняет процесс обработки данных, но дает дополнительный прирост информации.

В последнее время на территории России многоволновая сейсморазведка, несмотря на все достоинства, не пользовалась большой популярностью, в отличие от других стран. Низкий спрос на данный метод по сравнению с методом, который задействует только продольные волны, обуславливается рядом не совсем справедливых причин: небольшой прирост информации, большие финансовые вложения, сложность и продолжительность обработки и интерпретации данных МВС, недостаток программ для работы с МВС. На самом деле, увеличение стоимости работ МВС связано с единоразовой покупкой трехкомпонентных приемников, что увеличивает стоимость на 20–25%, но привносит много дополнительной информации по поводу литологии пород, флюидонасыщенности. Комплексный подход повышает достоверность информации и снижает риски при заложении новых разведочных скважин. Однако, отсутствие доверия у заказчиков и заинтересованности у исполнителей геофизичиских работ в освоении новой технологии комплексирования различных волн ведет к торможению развития МВС на территории России. Помимо этого, сказывается загруженность рынка геофизических услуг работами, проведенными только с использованием продольных волн.[3]

На данный момент интерес и потребность в методах многоволновой сейсморазведки растет в связи с ее высокой эффективностью при решении целого круга геологических задач:

- разведка пологих структур и малоразмерных рифов на Русской платформе;
- прогноз нефтегазоносности в Западной Сибири;
- идентификация и классификация аномалий типа «яркое пятно».
   [3]

Таким образом, MBC — это перспективный метод сейсморазведки, предоставляющий полные сведения о структурном строении и вещественном составе геологических объектов.

#### Литература:

- 1. Борисов А.С. Многоволновая сейсморазведка (МВС). Учебно-методическое пособие. Казань, 2012.
- 2. Кузнецов В. М., Шехтман Г. А., Череповский А. В. Методика наблюдений в многоволновой сейсморазведке. Технологии сейсморазведки, № 2, 2013, с. 37–59.
- 3. Кузнеов В. М. Опыт применения современных технологий при работах на территории РФ по комплексированию волн разных типов. Вниигеофизика — ION, Москва.

### Физика и Химия минералов

#### ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ ГИДРАТИРОВАННЫХ СУЛЬФАТОВ ЖЕЛЕЗА МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ

В. Р. Абдулина <sup>1</sup>, А. И. Задоя <sup>1</sup>, О. И. Сийдра <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

<sup>2</sup>Центр наноматериаловедения Кольского научного центра РАН, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14 <a href="mailto:abdnik@yandex.ru">abdnik@yandex.ru</a>

Гидратированные минералы сульфаты железа, такие как кокимбит  $Fe^{3+}_{2}(SO_{4})_{3} \cdot 9H_{2}O$ , копиапит  $Fe^{2+}Fe^{3+}_{4}(SO_{4})_{6}(OH)_{2} \cdot 20H_{2}O$  и рёмерит  $Fe^{2+}Fe^{3+}_{2}(SO_{4})_{4} \cdot 14H_{2}O$  являются вторичными минералами при выветривании и окислении железосульфидных месторождений в условиях аридного климата. В последнее десятилетие экспериментальная минералогия сульфатов переживает новый этап развития в связи с получением данных со спутников, а недавно и прямыми определениями значительного содержания таких минералов на поверхности Марса. В некоторых точках отбора на поверхности Марса содержание сульфатов достигает 30%. Причем многие из сульфатных минералов являются гидратированными, что свидетельствует о существовании воды на Марсе в прошлом [1].

Исследование изменений минералов с температурой актуально с точки зрения реконструкции условий их образования и моделирования геологических и геохимических процессов на Марсе, а также процессов в аридных зонах окисления на Земле.

Изучение устойчивости кристаллических структур минералов и их изменение в зависимости от температуры стало целью данной работы. Для этого выполнено терморентгенографическое исследование каждого минерала при температуре до 700 °C в вакууме с использованием дифрактометра Rigaku «Ultima IV» с высокотемпературной приставкой Rigaku «SHT-1500».

Получены данные об устойчивости и трансформации изучаемых минералов.

Проанализированные рентгенограммы уточнены при помощи метода Ритвельда и определены параметры элементарных ячеек каждого минерала до температуры распада, что позволило также рассчитать тензоры термического расширения и сопоставить их с кристаллическими структурами. Интерпретация высокотемпературных съёмок и расчёт ПЭЯ производились в программе TOPAS4 (Bruker), тензоры термического расширения построены при помощи программ TEV и ThetaToTensor. Валентность железа в промежуточных фазах установлена при помощи метода Мессбауэровской спектроскопии. В дополнение проведены исследования по гидратированию микасаита, полученного в результате нагревания каждого из трёх исходных минералов.

Полученные данные об устойчивости и трансформации изучаемых минералов указывают, что наименее устойчивым минералом является копиапит. Его структура разрушается при температуре  $t=+14\,^{\circ}\mathrm{C}$ . Угасание пиков рёмерита зафиксировано при температуре 60 °C (рис. 1). Наиболее стабильной является структура минерала кокимбит, распад которого наблюдается при  $t=+175\,^{\circ}\mathrm{C}$ . При дальнейшем нагревании

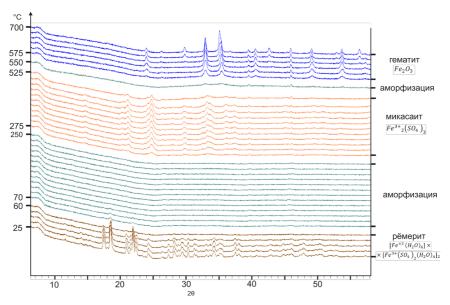


Рис. 1. Порошковые дифрактограммы при исследовании минерала рёмерита, изменяющиеся с ростом температуры.

после аморфизации всех трёх минералов при  $t=+275\,^{\circ}\mathrm{C}$  на рентгенограммах появляются пики минерала микасаит  $\mathrm{Fe_2(SO_4)_3}$ . Мотивы кристаллических структур изучаемых минералов и микасаита имеют общие фрагменты. Микасаит устойчив до  $t=+525\,^{\circ}\mathrm{C}$ . Конечным продуктом нагревания рёмерита до  $700^{\circ}$ является гематит. Кокимбит переходит в магнетит. Копиапит, содержащий в своей структуре разновалентные катионы железа, распадается на магнетит и гематит.

#### Литература:

 Vaniman D.T., Bish D. L., Chipera S. J., Fialips C. I., Carey J. W., Feldman W.G. Magnesium sulphate salts and the history of water on Mars // Nature, 2004, 431, 663–665

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант 16—17—10085).

#### МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕТРОЛОГИЯ КОРУНДСОДЕРЖАЩИХ И АССОЦИИРУЮЩИХ С НИМИ ПОРОД ИЗ НЕКОТОРЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ БЕЛОМОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

#### Е.Ю. Акимова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, СПбГУ, г. Санкт-Петербург, st022265@student.spbu.ru

<sup>2</sup>Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2.

Беломорский подвижный пояс (БПП), расположенный на северо-востоке Фенноскандии,— сложная покровно-складчатая структура, сформированная в ходе архейского и палеопротерозойского орогенеза [1]. Флюидная переработка пород БПП в ходе метаморфизма свекофеннского (позднепалеопротерозойского) возраста привела к формированию корундсодержащих метасоматитов [3], с которыми ассоцируют и другие породы экзотического состава, в том числе кианитовые амфиболиты [2]. Их генетическая связь подтверждается аномальным изотопным составом кислорода и водорода [7].

Нами изучены корундсодержащие, ассоциирующие с ними и вмещающие породы на проявлениях Хитоостров и Лягкомина: уточнен состав минералов, установлены РТ-параметры формирования пород. Составы минералов определены методом ЭЗМА (ЭДС) в РЦ СПбГУ «Геомодель» (аналитики — В. В. Шиловских и Н. С. Власенко). Расчёт составов минералов выполнен в программе Minal 3 (автор — Д. В. Доливо-Добровольский).

На проявлении Хитоостров представлены гранат-биотит-амфибол-плагиоклазовые, гранат-биотит-плагиоклазовые корундсодержащие породы с Na-жедритом, кианитом, ставролитом. Породы крайне неоднородны, минеральный состав изменчив даже в пределах первых метров. По результатам микрозондового анализа в корундсодер-

жащих породах установлены следующие минералы: гранат гроссуляр-пироп-альмандинового ряда, биотит (флогопит и Na-биотит), Са и Fe-Mg амфиболы (паргаситовые и чермакитовые роговые обманки, иногда близкие к барруазиту, Na-жедрит), плагиоклаз (олигоклаз), Мд-ставролит, корунд, кианит, рутил, ильменит; акцессорные минералы: фторапатит, циркон, алланит; вторичные минералы: мусковит, парагонит, лейкоксен, диаспор, цеолиты (томсонит, гармотом). На проявлении Лягкомина представлены кианит-гранатовые амфиболиты, в подчиненном количестве встречаются кианит-ставролит-гранатовые и ставролит-гранатовые амфиболиты; все они содержат клиноцоизит. В амфиболитах диагностируются следующие минералы: чермакитовая роговая обманка, гроссуляр-пироп-альмандиновый гранат, магнезиальный биотит, плагиоклазы различного состава (олигоклаз-андезиновые и битовнит-анортитовые), кианит, кварц, Мд-ставролит, клиноцоизит, ильменит, титанит, рутил; акцессорные минералы: фторапатит, циркон, алланит.

РТ-параметры образования пород определены методом TWEEQU [6] в программе TWQ 2.02b с базой данных JUN92.GSC [5], включающей компоненты роговых обманок, и с дополнениями TWQ\_Comb и TWQ\_View В. В. Доливо-Добровольского (http://www.dimadd.ru/ru/Programs). По результатам термобарометрических расчётов формирование метасоматитов (корундсодержащих пород и кианитовых амфиболитов) происходило в условиях от высокобарной гранулитовой фации (~800°C и 10–12 кбар) до среднетемпературной амфиболитовой фации повышенных давлений (~580–600°C и 5–6 кбар). Полученный диапазон условий формирования пород соответствует кианитовой фациальной серии, условия которой обычны для метаморфизма Беломорского подвижного пояса в палеопротерозое [4].

Появление редкого парагенезиса ставролита и кианита с роговой обманкой свидетельствует о повышенной глинозёмистости пород. Причиной накопления глинозёма могла стать десиликация, которая выразилась также в почти повсеместном исчезновении кварца. Дальнейшая десиликация, по всей видимости, привела к появлению корунда, наблюдаемого в ряде других проявлений в Беломорье.

#### Литература:

- 1. Ранний докембрий Балтийского щита. Под ред. Глебовицкого В. А. СПб.: Наука, 2005. 711 с.
- 2. Серебряков Н.С. Петрология корундсодержащих пород чупинской толщи Беломорского подвижного пояса (на примере Чупинского сегмента). Диссертация к.г.-м. н. М., ИГЕМ РАН. 2004. 170 с.
- 3. Серебряков Н.С., Астафьев Б.Ю., Воинова О. А. и др. Первое локальное Th-U-Pb датирование циркона метасоматитов Беломорского подвижного пояса. // ДАН. 2007. Т. 413. № 3. С. 388–392.
- Слабунов А.И., Азимов П.Я., Глебовицкий В.А. и др. Архейская и палеопротерозойская мигматизации пород Беломорской провинции Фенноскандинавского щита: петрология, геохронология, геодинамические следствия // ДАН. 2016. Т. 467. № 1. С. 71–749.
- 5. Berman R. G. Internally consistent thermodynamic data for minerals in the system Na2O–K2O–CaO–MgO–FeO–Fe2O3–Al2O3–SiO2–TiO2–H2O–CO2 // J. Petrol. 1988. Vol. 29. P. 445–522.
- Berman R. G. Thermobarometry using multiequilibrium calculations: A new technique with petrologic applications // Can. Mineral. 1991. Vol. 29. No. 4. P. 833–855.
- Bindeman I.N., Serebryakov N.S., Schmitt A.K. et al. Field and microanalytical isotopic investigation of ultradepleted in 18O Paleoproterozoic "Slushball Earth" rocks from Karelia, Russia // Geosphere. 2014. V. 10. P. 308–339.

Автор благодарит П. Я. Азимова (ИГГД РАН), Н. С. Серебрякова (ИГЕМ РАН), А. Б. Кольцова (СПбГУ) за помощь и поддержку на всех этапах работы, Д. В. Доливо-Добровольского (ИГГД РАН) за предоставленные компьютерные программы. Работа выполнена в рамках гранта РФФИ N 17-05-00265.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ИЗУМРУДАХ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЙ УСЛОВИЙ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

<u>А. Р. Ахметзянова</u> $^{1}$ , А. Г. Николаев $^{1}$ , М. П. Попов $^{2}$ .

<sup>1</sup>Казанский федеральный университет, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18 
<sup>2</sup>Уральский государственный горный университет, 620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30 
only7lovely@gmail.com

Цель данной работы — исследование газово-жидких включений в изумрудах и выявление условия их формирования по результатам термобарогеохимических исследований. Материалом для исследования послужили изумруды с Мариинского месторождения (Уральские изумрудные копи) и изумруды с месторождения Музо, Коскуэс и Чивор (Колумбийская изумрудная провинция).

Газово-жидкие включения изучались с помощью комплекса, состоящего из термостолика Linkam THMS600 с рабочим температурным интервалом от  $-196\,^{\circ}\mathrm{C}$  до  $600\,^{\circ}\mathrm{C}$ . Для исследований состава газовой компоненты включений использовался высокоразрешающийся спектрометр комбинационного рассеяния LabRAM HR800.

Месторождения изумрудов Колумбии относятся к гидротермальному типу, а месторождения Среднего Урала (Изумрудные копи) — к пневматолито-гидротермальному типу эндогенных месторождений [2].

**Уральские изумруды.** При сильном увеличении в изумрудах Уральских месторождений были обнаружены и описаны включения актинолита и флогопита. Кроме того, в них присутствует большое количество двухфазовых флюидных включений (Ж+ $\Gamma$ ), содержащих жидкую фазу, состоящую из водно-солевого раствора и газового пузырька. Они имеют характерную для данной провинции неправильную форму. При изучении флюидных включений в изумрудах Мариинского месторождения установлено, что температура эвтектики жидкой фазы изменялась в диапазоне от -12.5 °C до -14 °C, что может свидетель-

ствовать о присутствии хлоридов калия (KCl) с небольшим количеством хлоридов натрия (NaCl) [1]. По температуре плавления льда, установлено, что концентрация солей изменяется от 4,0 до 4,4 мас.% NaCl экв. [4]. Температура гомогенизации включений в изумрудах равна 244—302 °C. Исследование газовой составляющей методом КР-спектроскопии показало, что в составе включений присутствует чистая CO<sub>2</sub>.

Колумбийские изумруды. В образцах с месторождений Колумбии были выявлены трехфазные включения (Ж+Г+Т). Твердая фаза (Т) представлена кристаллами соли. Включения имеют неправильную пилообразную форму, что является типичным для изумрудов данного района. По результатам криометрии включений установлено, что температура эвтектики изменяется от -77,5 °C до -65 °C, что, вероятно, свидетельствует о присутствии в составе флюида хлоридов лития и хлорида натрия (LiCl-NaCl) с небольшим количеством хлоридов кальция (CaCl<sub>2</sub>) [1, 4]. По температуре плавления льда установлено, что концентрация солей изменялась от 35 до 38 мас.% LiCl экв. [3]. При исследовании изумрудов с месторождения Музо (Колумбия) нами была выявлена зональность по солевому составу флюидных включений. В центре кристалла температура эвтектики составила –77,2 °C, а во включениях на краю кристалла температура эвтектике составила -65 °C. Из этого можно сделать предположение об особенностях формирования во времени кристаллов изумрудов на этом месторождении. В начале формирования кристалла флюид имел состав LiCl-NaCl-H<sub>2</sub>O, в процессе роста флюид изменял свой состав и происходил привнос CaCl<sub>2</sub> компонента, что и привело к изменению температуры эвтектики во включениях

При определении температуры гомогенизации включений в Колумбийских изумрудах были определенные сложности. Газовый пузырек исчезал при температуре 235–248 °C. При нагревании выше 345 °C происходила декрепитация включений, при том, что кристаллики соли полностью не растворились. Это вероятно связано с повышенной концентрацией солей в составе включений.

Исследование газовой составляющей методом КР-спектроскопии показало, что в составе включений присутствует чистая

 ${
m CO}_2$ . Жидкая углекислота в составе включений при охлаждении не наблюдается.

По исследованию газово-жидких включений в изумрудах можно говорить, что формирования их проходило на месторождениях Урала и Колумбии в гидротермальную стадию минералообразования. По изучению состава включений в изумрудах из месторождений Колумбии можно говорить о едином глубинном источнике минеральных флюидов, который служил источником для образования месторождений изумрудов. Источником вещества месторождений Колумбии могли служить кислые редкометальные интрузивные породы, а сами месторождения можно отнести к гидротермальному типу.

#### Литература:

- Борисенко А. С. Изучение солевого состава растворов газово-жидких включений в минералах методом криометрии. Геология и геофизика. 1977. — № 8. — С. 16–27.
- 2. Киевленко Е.Я., Сенкевич Н. Н., Гаврилов А. П. Геология месторождений драгоценных камней.— М.: Недра, 1982.— 273 с.
- 3. Киргинцев А.Н., Трушникова Л.Н., Лаврентьева В.Г. Растворимость неорганических веществ в воде. Справочник.— Л.: Химия, 1972.— 248 с.
- 4. Мельников Ф.П., Прокофьев В.Ю., Шатагин Н.Н. Термобарогеохимия.— М.: Академический проект, 2008.— 222 с.

## ОБРАТИМАЯ ГИДРАТАЦИЯ/ДЕГИДРАТАЦИЯ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ РЕТГЕНОГРАФИЯ ЭВХЛОРИНА KNaCu3(SO4)3O

<u>А.С. Борисов</u><sup>1</sup>, О.И. Сийдра<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

<sup>2</sup>Центр наноматериаловедения Кольского научного центра РАН, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14 as borisov@inbox.ru

Характерными на фумаролах вулкана Толбачик (Камчатка) являются высокотемпературные безводные сульфатные минеральные ассоциации с медью и щелочными металлами [1]. Большинство этих минералов весьма неустойчивы на открытом воздухе с понижением температуры и повышением влажности. Понимание и выявление механизмов трансформаций первичных эксгаляционных минералов позволит установить формы переноса переходных и тяжелых металлов в водных растворах при воздействии атмосферных осадков.

В докладе будут представлены результаты экспериментов по гидратации и дегидратации, а также высокотемпературной рентгенографии одного из наиболее распространенных минералов в фумаролах — эвхлорина  $KNaCu_2(SO_4)_3O$ .

Образцы исходного эвхлорина были исследованы методом монокристального рентгеноструктурного анализа. Была уточнена его кристаллическая структура — пространственная группа C2/c, a=18.131(15), b=9.386(8), c=14.353(12) Å,  $\beta=113.217(12)^\circ$ . Кристаллохимическая формула одного из изучаемых образцов может быть записана как ( $K_{0.65(3)}$   $Na_{0.35(3)}$ )( $Na_{0.98(3)}$   $K_{0.02(3)}$ )[ $Cu_3O$ ]( $SO_4$ )<sub>3</sub>.

Процентное соотношение различных фаз, образующихся при гидратации исходной пробы эвхлорина в зависимости от времени, отражено в табл. 1.

Таблица 1

	Исходная проба	+30 минут гидратации	+30 минут	+60 минут	+120 минут	+30 минут	+14 часов
Эвхлорин	100	12	~1	-	-	-	-
Халькантит		37	28	16	18	13	-
Цианохроит		47	47	41	40	39	13
Кобяшевит		4	21	25	24	25	16
Кронкит			3	17	14	18	1
Калиохальцит				1	4	5	70

Гидратированная многофазная проба была исследована методом высокотемпературной рентгенографии. Интерпретация высокотемпературных съемок показала, что смесь гидратированных фаз различного состава постепенно переходит к преимущественно однокомпонентному, изначальному составу эвхлорина.

Второй частью работы было исследование теплового расширения неизмененного эвхлорина методами высокотемпературной рентгенографии. Максимальное тепловое расширение структуры эвхлорина наблюдается с увеличением температуры вдоль оси  $\alpha_{11}$ , что при разной температуре соответствует расположению под различными углами к кристаллографическим осям. Полный распад вещества наблюдается при температуре 650– $675^{\circ}$ 

#### Литература:

 Siidra, O.I., Nazarchuk, E.V., Zaitsev, A.N. et al., Eur. J. Mineral. 2017, 29, 499–510.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 16–17–10085. Рентгенофазовые исследования выполнены на оборудовании ресурсного центра СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования».

### МИНЕРАЛОГИЯ ОТЛОЖЕНИЙ СИСТЕМЫ КУЛОГОРСКИХ ПЕЩЕР (ПИНЕЖСКИЙ РАЙОН, АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

В. А. Борисова <sup>1</sup>, А. М. Седова <sup>1</sup>, О. С. Верещагин <sup>1</sup>, М. А. Надпорожская <sup>1</sup>, Н. А. Франц <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 

<sup>2</sup>АССА «Лабиринт», г. Архангельск 

lilian-96\_96@mail.ru

В этой работе рассматривается минералогия водно-механических отложений системы Кулогорских пещер. Первые описания пещер сделал Александр Иванович Шренк в 1837 г. Комплексные геологические исследования проводились в период 1974-1982 гг. Карстовым отрядом Архангельской геологической службы. Результаты исследований были сведены в книгу «Карст и пещеры Пинежья» В. Н. Малкова [1]. Несмотря на довольно обширные исследования, минералогический состав отложений был изучен слабо. В настоящее время каф. минералогии ИНо3 СПбГУ совместно с Архангельской Спелеологической ассоциацией «Лабиринт» проводится изучение минералогического состава комплекса вторичных отложений. По результатам исследования А. М. Седовой и Н. А. Франца [2], выделено четыре группы отложений: А — современные не литифицированные отложениия; В — древние литифицированные отложения; С — отложения залечивающие небольшие трещины в монолите гипса; D — породы из вмещающей толщи. Образцы для исследований отбирались из разных частей пещер: с пола, полок на разной высоте от свода, из трещин и из прослоев алевритов и песчаников во вмещающей толще.

Современные нелитифицированные отложения представлены слабосцементированными мергелями и алевропесчаниками. Структура мергелей коллоидная, с тонкослоистой текстурой, в алевропесчанике структура тонкозернистая, с глинисто-карбонатным цементом и комками доломита. В мергелях основной фазой является доломит, много кварца и мало слюдистых минералов. В алевропесчаниках основной фазой обломочной части является кварц, мало доломита, хлорита и слюд. Для обломочной части этой группы характерны обломки кварца, доломита, плагиоклаза, К-полевого шпата и других минералов.

Литифицированные отложения представлены аргиллитами с тонкой слоистостью; мергелями с тонкослоистой текстурой; кальцитовыми туфами с неясной слоистостью и ориентированными комками доломита и глинистых минералов; натечной корой, наросшей на алевропесчаник, сложенной агрегатами кальцита. Основными фазами цемента аргиллитов является кварц, в мергелях — доломит, в кальцитовом туфе — кальцит и кварц, в натечной коре — кальцит. Состав обломочной части в каждой породе группы разный. В аргиллите преобладают кварц и доломит, в мергелях — гипс и кварц, в кальцитовом туфе — кварц и целестин, в натечной коре — целестин, кварц и доломит. Но общими минералами пород этой группы являются: кварц, альбит, доломит, К-Na-полевой шпат, целестин.

Отложения залечивающие небольшие трещины в монолите гипса представлены мелкозернистым песчаником с пойкилитовым гипсовым цементом и песчаником с глинисто-доломитовым цементом. Основной фазой для песчаника с глинисто-гипсовым цементом является кварц, для песчаника с глинисто-доломитовым цементом — доломит. В обломочной части находятся кварц, К-Na-полевой шпат, альбит, доломит, среди акцессорных большое количество циркона, немного альмандина, титанита.

Породы вмещающей толщи сложены тонко-мелкозернистыми песчаниками и переслаиваниями алевропесчаника и доломита. Основной фазой цемента в этих породах является доломит. В обломочной части присутствуют олигоклаз, кварц, К-Na-полевой шпат, доломит, циркон и другие минералы.

На основе минералогических исследований были выделены минеральные ассоциации для каждой группы пород. Общими минералами для всех групп являются кварц, плагиоклаз, доломит и K-Na-полевой шпат (Табл. 1). Только в современных и литифицированных отложениях встречаются целестин и гипс, и только в породах вмещающей толщи

встречен гиперстен. На основе минеральных особенностей можно сделать предположение, что для разных групп пород был разный источник обломочного материала.

 $\it Tаблица\ 1$  Состав (вес%) некоторых основных минералов.

	SiO <sub>2</sub>	$Al_2O_3$	SO <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	СО <sub>3(расч)</sub>
Кальцит	-	-	0.760	-	41.969	-	-	57.271
Доломит	0.729	-	-	16.527	24.162	-	-	58.582
Плагиоклаз	68.395	18.887	-	-	0.680	12.038	-	
К-Nа-полевой шпат	67.229	18.542	-	-	-	1.173	13.055	
Гипс	0.889	-	60.832	-	38.279	-	-	

- ниже порога обнаружения

#### Литература:

- 1. Малков В. Н., Гуркало Е.И, Монахова Л. Б., Шаврина Е. В., Гуркало В. А., Франц Н.А, Карст и пещеры Пинежья. Москва, 2001, Ассоциация «ЭКОСТ». 208 стр.
- 2. Седова А. М., Франц Н. А. Минералого-петрографический обзор отложений Кулогорских пещер (Пинежский район, Архангельская область)// Материалы докладов межрегиональной научной конференции «Вклад особо охраняемых природных территорий Архангельской области в сохранение природного и культурного наследия» (21–23 ноября 2017 г.) / Отв. ред. к. б.н. Ежов О. Н. ФИЦКИА РАН. Архангельск, 2017. С 58–63.

# ТИПОХИМИЗМ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ГРАНИТОВ ТУРГИНСКОГО МАССИВА В ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ

### Е.Б. Борисова, А.А. Иванова

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 jenyaborisova98@gmail.com

Работа посвящена изучению акцессорных минералов редкометальных Li-F гранитов (РГ) Тургинского массива в Восточном Забайкалье. Актуальной на сегодняшний день является проблема механизмов концентрирования редких элементов. Тургинский массив РГ входив состав сложного гранитного интрузива и представляет собой редкий случай пространственной совмещенности с габбро-монцонитоидами более раннего породного комплекса. Ряд дифференциатов пород этого массива завершается образованием амазонитовых (Амаз) гранитов. Однако в сравнении с аналогичными редкометальными массивами Восточного Забайкалья (Орловский, Этыкинский), отличительной особенностью Амаз гранитов данного массива является их безрудность на танталовое оруденение. Тургинский массив состоит из двух интрузивных комплексов: шахтаминского (158 млн. лет) и кукульбейского (139±2 млн. лет). В составе кукульбейского комплекса выделяют три фазы: ранняя — крупнозернистые порфировидные Бт граниты; главная фаза — среднеравномернозернистые граниты с Прт с гороховидным морионоподобным кварцем; завершающая фаза — Амаз-Аб граниты со слюдами Цнв состава [1].

Нами выделены мономинеральные фракции акцессорных минералов из трёх фаз гранитов Тургинского массива. Минералы были изучены на микроанализаторе Hitachi S-3400N в Ресурсном центре «Геомодель». Были идентифицированы следующие минералы: в гранитах ранней фазы — Fe-Mn-гранат, циркон, апатит, магнетит, флюорит, монацит, ксенотим, в гранитах главной фазы — ильменит, циркон, флюорит, гранат, монацит, ксенотим, флюоцерит, бастнезит, торит, колумбит,

рутил, в Амаз гранитах — циркон, флюорит, монацит, ксенотим, торит, колумбит-танталит. Важно отметить, что в гранитах главной фазы были обнаружены редкие фториды, алюмосиликаты и фторидокарбонаты REE. Особое внимание было уделено «сквозным» акцессорным минералам, присутствующим во всех фазах изучаемых гранитов — циркону, монациту, ксенотиму и группы колумбит-танталита.

В результате исследований было установлено, что для циркона главной фазы характерны процессы специфичного двойникования и взаимного прорастания, изменение содержаний U, Hf, что является индикатором резкого изменения условий среды кристаллизации.

Было установлено, что нормальный тренд эволюции состава монацита, известный из примера РГ Хангилайского и Орловского массивов и проявляющийся в закономерном уменьшении содержаний REE и росте актинидов U и Th, в Тургинском массиве не прослеживается.

При сравнении зависимостей Ta/(Ta+Nb) от Mn/(Mn+Fe) в колумбитах-танталитах из РГ Орловского массива и Тургинского массива, было выявлено несоответствие трендов эволюции их составов. Все точки состава колумбитов Турги попали в поле ферроколумбитов, что не согласуется с установленным трендом эволюции их состава для дифференциатов РГ: должно повышаться сначала содержание Mn, а затем Та.

Среди акцессорных минералов из гранитов главной фазы были выделены минералы LREE (фторид редкоземельных элементов — флюоцерит, алюмосиликат LREE — алюминоцерит, а также фторидо-карбонат — паризит), находящиеся в закономерных сростках с кварцем, слюдой, альбитом, ильменитом и цирконом.

Для оценки РТ-параметров кристаллизации гранитов были использованы различные геотермометры: по уровню концентрации Ті в цирконе «Ti-in-Zircon» [2], по степени насыщения силикатного расплава Zr [3], по коэффициенту распределения Gd в сосуществующем монаците и ксенотиме.

Полученные данные температуры варьируют 800 до 1500 °C для гранитов ранней фазы, 800 до 1500 °C для гранитов главной фазы и 750

до 815 °C для Амаз гранитов. Парадоксальным является факт высокой температуры кристаллизации порд главной фазы.

Таким образом, можно сделать вывод об отсутствии единого эволюционного тренда в ряду фаз Тургинского массива, объясняемого процессом фракционной кристаллизации. Процесс кристаллизации гранитов главной фазы сопровождался преждевременным отделением фтора (ответственного за перенос и концентрацию редких элементов) от гранитного расплава, что привело к обильной кристаллизации в них фторидов LREE, минералов U, Th и обилиию циркона. В результате типичные для Li-F гранитов элементы не достигли своего насыщения в поздних продуктах дифференциации и Амаз граниты заключительной фазы оказались безрудными.

#### Литература:

- 1. Трошин Ю. П., Гребенщикова В. И., Бойко С. М. Геохимия и петрология редкометальных плюмазитовых гранитов. // Новосибирск: Наука, 1983, 182 с.
- 2. Ferry, J. M. New thermodynamic analysis and calibration of the Ti-in-zircon and Zr-in- rutile thermometers / J. M. Ferry, E. B. Watson // Geological Society of America Abstracts with Pro-grams. 2006. V. 38. № 6. P. 243.
- 3. Watson E.B. Wark D.A., Thomas J.B. Crystallization thermometers for zircon and rutile. // Contrib Mineral Petrol, 2006, 151, p. 413–433.

## СИНТЕТИЧЕСКИЕ СТРУКТУРНЫЕ АНАЛОГИ МИНЕРАЛОВ АВЕРЬЕВИТА $[Cu^{2+}_{5}O_{2}](VO_{4})_{2}\cdot n(Cu, Cs, Rb, K)Cl_{x}$ И ЯРОШЕВСКИТА $Cu_{9}O_{2}(VO_{4})_{4}Cl_{2}$ .

В. А. Владимирова<sup>1</sup>, О. И. Сийдра<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

<sup>2</sup> Центр наноматериаловедения Кольского научного центра РАН, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14 <a href="mailto:vladimirovav.sbk.1998@yandex.ru">vladimirovav.sbk.1998@yandex.ru</a>

В настоящее время актуальность мобильных источников энергии возрастает по мере развития цифровых электронных технологий. Мобильная энергетика и возобновляемые источники энергии входят в перечень направлений-приоритетов научно-технического развития страны. Разработка мобильных аккумуляторных устройств и портативных батарей с меньшими затратами энергии являются приоритетными научными направлениями химии, физики, материаловедения, кристаллографии и кристаллохимии. Одним из таких перспективных для использования минералов, благодаря своей кристаллической структуре, является аверьевит  $[Cu_sO_2](VO_4)_2 \cdot nMCl_*(M=Cu, Cs, Rb, K)_*$ открытый на вулкане Толбачик в 1998 году [1]. К данному классу химических соединений относится также природный минерал ярошевскит  $Cu_{0}O_{2}(VO_{4})_{4}Cl_{2}$ , открытый на Толбачике в 2013 году [3]. Основной целью данной работы является получение синтетических аналогов природных минералов тройной системы CuO-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-CuCl<sub>2</sub>, а также последующее изучение свойств синтезированных аналогов минералов.

Кристаллы синтетического структурного аналога аверьевита  $Cu^{2+}{}_5O_2(VO_4)_2 \cdot 2(Cu^+Cl)$  без щелочных металлов были получены в результате высокотемпературного синтеза методом газотранспортных реакций в тройной системе  $CuCl_2$ - $V_2O_5$ -CuO, в соотношении 2:1:3. Синтетический аналог аверьевита образовался в тесной ассоциации с минералом- ванадатом меди цизитом. Отобранный кристалл был изучен на дифрактометре *Bruker APEX DUO*. Кристаллическая структура была уточнена в программе *SHELX* в пространственной группе

*P*-3*m*1: *a*=6.406(4) Å, *c*=8.403(5) Å, *R*<sub>1</sub>=4.6%. Результаты микрозондового исследования кристаллов позволяют записать формулу: (Cu<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup>)<sub>7.345</sub>V<sub>1.865</sub>O<sub>10.063</sub>Cl<sub>1.872</sub>.

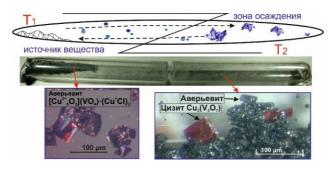


Рисунок 1. Кварцевая трубка с кристаллами аверьевита и цизита.

Кристаллы синтетического ярошевскита  $\mathrm{Cu_9O_2(VO_4)_4Cl_2}$  были получены в процессе высокотемпературного синтеза методом газотранспортных реакций в тройной системе  $\mathrm{CuCl_2-V_2O_5}$ -CuO, в соотношении 10:1:6. Отобранный кристалл синтетического аналога ярошевскита был изучен на дифрактометре  $Bruker\ APEX\ DUO$ . Кристаллическая структура была уточнена в программе SHELX в пространственной группе  $P\text{-}1:\ a=6.472(4)\ \text{Å},\ b=8.343(6)\ \text{Å},\ c=9.206(7)\ \text{Å},\ \alpha=105.177^\circ,\ \beta=96.215^\circ,\ \gamma=107.642^\circ,\ R_1=4.8\%.$  Кристаллическая структура представляет собой цепочки из тетраэдров  $[\mathrm{OCu_4}]^{6+}$ , соединенных по вершине  $(\mathrm{Cu})^{2+}$ , и окружающих их тетраэдров  $[\mathrm{VO_4}]^{3-}$ . Кристаллы синтетического ярошевскита характеризуются призматическим габитусом и темно-синим цветом зерен.

Кристаллическая структура аналога аверьевита представляет собой пористый каркас из слоев  $[\mathrm{Cu^{2+}}_5\mathrm{O_2}]^{6+}$ , слои окружены ванадатными тетраэдрами по принципу «грань-к-грани» [2]. Данный каркас имеет широкие каналы, вытянутые вдоль оси c, имеющие свободный диаметр 6,406 Å. В структуре природного минерала в данных каналах располагаются хлоридные комплексы с щелочными металлами и двухвалентной медью, в то время как в синтетическом аналоге располагаются комплексы  $\mathrm{Cu^+Cl}$ . Одним из наиболее интересных аспектов кристаллической структуры синтетического аналога аверьевита является наличие

широких каналов в пористом каркасе, что позволяет предположить возможность ионообменных реакций с другими комплексами. Синтетический аналог аверьевита является плохорастворимым соединением, а также устойчивым в воде при кипячении. Выполнены ионообменные эксперименты и получены кристаллы  $Cu^{2+}_{5}O_{2}(VO_{4})_{2} \cdot 2(K^{+}Cl)$ .

Катионы меди  $Cu^{2+}$  в кристаллической структуре синтетического аналога аверьевита образуют правильные симметричные сетки кагомэ. Для таких структур отмечаются исключительные магнитные свойства, обусловленные образованием фрустрированных решеток и приводящие к появлению эффекта спиновой жидкости [4]. Исследования магнитных свойств в данный момент выполняются.

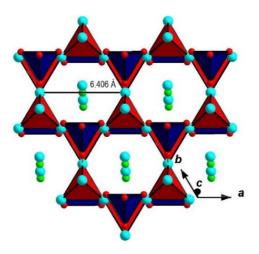


Рисунок 2. Кристаллическая структура синтетического аверьевита  $Cu^{2+}{}_5O_2(VO_4)_2 \cdot 2(Cu^+Cl)$  (внутриканальные молекулы показаны упорядочено для ясности). Красные- $(OCu_4)^{6+}$ , синие- $(VO_4)^{3-}$ .

Итак, экспериментально получены синтетические аналоги природных минералов аверьевит и ярошевскит. В результате ионообменных экспериментов изучена пропускная способность широких каналов в структуре синтетического аналога аверьевита, тем самым на начальном этапе оценен характер изоморфизма меди с другими металлами. В дальнейшем будут изучены магнитные свойства посредством измерения магнитного момента и магнитной восприимчивости синтетиче-

ских аверьевита и ярошевскита. Также планируется выполнить ряд ионообменных экспериментов с Li для применения такой структуры в аккумуляторах и батареях с минимальной потерей энергии. Исследования продолжаются, осваиваются новые методы и оборудование.

### Литература:

- 1. Вергасова Л. П., Старова Г. Л., Филатов С. К., Ананьев В. В. Аверьевит  $Cu_s(VO_4)_2 \cdot nM_x$  новый минерал вулканических эксгаляций// Доклады Российской Академии Наук, 1998. Т. 359. С. 804–807.
- Кривовичев С. В., Филатов С.К. Кристаллохимия минералов и неорганических соединений с комплексами анионоцентрированных тетраэдров// Издательство Санкт-Петербургского Государственного Университета, 2001. С. 200.
- Pekov I.V., Zubkova N.V., Zelenski M.E., Yapaskurt V.O., Polekhovsky Yu.S., Fadeeva O.A., Pushcharovsky D. Yu. Yaroshevskite, Cu<sub>9</sub>O<sub>2</sub>(VO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub> a new mineral from the Tolbachik volcano// Mineralogical Magazine, 2013. V. 77. P. 107–116.
- 4. Shores M.P., Nytko E.A., Bartlett B.M., Nocera D.G. A structurally perfect S=1/2 Kagome antiferromagnet// Journal of the American Chemical Society, 2005. V. 127. P. 13462–13463.

Работа выполняется при финансовой поддержке гранта РНФ 16—17—10085.

Рентгеновские исследования выполнены на оборудовании ресурсного центра СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования»

### МИНЕРАЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПЕГМАТИТОВ САГАСЕН, КОМПЛЕКС ЛАРВИК, ЮЖНАЯ НОРВЕГИЯ

О.В. Головко, О.С. Верещагин

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 Golovko.511@gmail.com

Концентрически-зональный комплекс плутонических щелочных пород Ларвик генетически связан с раскрытием рифта Осло [3, 5] и расположен в южной части Норвегии.

Образцы, исследованные в настоящей работе, были отобраны во время полевой практики на карьере Сагасен в 2017 году. Всего было исследовано 5 образцов пегматитов. Рентгенографические исследования проведены в РЦ СПбГУ «Рентгенодифракционные методы», исследование химического состава и электронная микроскопия — в РЦ СПбГУ «Геомодель», расчет параметров элементарной ячейки полевых шпатов проведён в программном пакете Bruker TOPAS v. 5 (Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA).

### Результаты исследования

Данные рентгенофазового анализа и электронной микроскопии позволили установить в исследованных образцах 35 минеральных видов (табл. 1). Основную массу породы слагают нефелин, пироксен (эгирин), амфибол (феррогорнблендит), слюда (аннит) и полевые шпаты (микроклин и альбит) (рис. 1). Нефелин преимущественно идиоморфный; окрашен в зеленый или мясо-красный цвет, в некоторых кристаллах наблюдается зональность. Полевые шпаты заполняют пространство между другими минералами. Распространены структуры распада твердого раствора: микроклин-альбит, магнетит-ильменит, эгирин-аннит.

Морфология акцессориев различна: пирохлор, велерит, торианит,— идиоморфны; бастнезит, монацит — ксеноморфны, церит, торит встречаются в виде включений в апатите, цирконе или пирохлоре. Ин-

тересной особенностью является одновременное присутствие оксидов и силикатов Th и Zr.

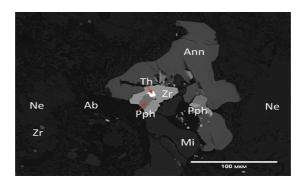


Рис. 1. Акцессорные минералы в нефелиновой матрице (BSE-изображение). Ab — альбит, Ann — аннит, Mi — микроклин, Ne — нефелин, Pph — пирофанит, Th — торит, Zr — циркон

Для альбита и микроклина были определены параметры элементарной ячейки и установлено, что степень упорядоченности Al в них максимальна [1]. Оценка температуры формирования пегматитов проводилась на основании химического состава нефелина [2], и минеральной пары магнетит-ильменит [4]. Температурный интервал кристаллизации нефелина составил 1000–700 °C (рис. 2), температура распада магнетита –450 °C. Широкий диапазон полученных значений говорит о медленной кристаллизации и сравнительно высоких температурах при которых начал кристаллизоваться пегматит.

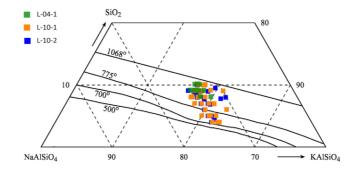


Рис. 2. Тройная диаграмма состава нефелинов пегматита Сагасен

#### Выводы

При исследовании образцов пегматита Сагасен установлено 35 минеральных видов, в том числе 3 сульфида, 6 оксидов, 19 силикатов, 3 фосфата, 3 карбоната, 1 фторид. Температура формирования пегматитового тела во время его кристаллизации составляла от 1000 до 450 °C, Кристаллизация пегматита представляла собой медленный и многоэтапный процесс, вероятно, начавшийся сразу после внедрения плутона.

 $\it Taблица~1$  Минералы пегматитов, диагностированные точными инструментальными методами в ходе исследования

Класс		Названия минералов				
Сульфиды		Галенит, сфалерит, молибденит				
Оксиды		Бадделеит, торианит, ильменит, пирофанит, магнетит, фторкальциопирохлор				
Си-	Островные	Циркон, торит, церит-(Се), титанит, бритолит-(Се), вёлерит				
ли-	Цепочечные	Эгирин				
ка-	Ленточные	Феррогорнблендит				
ТЫ	Слоистые	Мусковит, аннит, шамозит, пеннантит				
	Каркасные	Микроклин, альбит, нефелин, анальцим, канкринит, натролит, содалит				
Фосфаты		Монацит-(Се), ксенотим-(Ү), фторапатит				
Карбонаты		Кальцит, бастнезит, бурбанкит				
Фториды		Флюорит				

### Литература

- 1. Каменцев И.Е., Сметанникова О. Г. Руководство по рентгеновскому исследованию полевых шпатов. Ленинград, 1984. 40 с.
- 2. Hamilton D. L. Nephelines as Crystallization Temperature Indicators // The University of Chicago Press. 1961. № 69, 321–329 p.
- 3. Larsen A.O. The Langesundsfjord. History, geology, pegmatites, minerals. Bode Verlag Gmbh, Salzhemmendorf, Germany. 2010. 240 p.
- 4. Lepage, L.D. ILMAT: an excel worksheet for ilmenite-magnetite geother-mometry and geobarometry. Comput. Geosci. 2003. 29 (5), 673–678 p.
- 5. Norske D., Asa O, The Permo-Carboniferous Oslo Rift through six stages and 65 million years, 2008. 52–58 p.

## ТЕРМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПРИРОДНЫХ СУЛЬФАТОВ НАТРИЯ ИВСИТА $Na_3H(SO_4)_2$ И МАТТЕУЧИТА $NaHSO_4\cdot H_2O$

<u>Н. В. Дмитриева</u>  $^{1,2}$ , С. К. Филатов $^{1}$ , Р. С. Бубнова $^{2}$ , А. П. Шаблинский $^{1,2}$ .

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 
<sup>2</sup>Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук, 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2 
<u>dmitrievanataha@mail.ru</u>

Вулканы с активным вулканизмом являются постоянно изменяющейся системой, и минералы, образованные в вулканических условиях, подвергаются воздействию температуры. Особое место среди минералов вулканических эксгаляций Большого трещинного толбачинского извержения (БТТИ) и Трещинного толбачинского извержения (ТТИ) занимают безводные и водные сульфаты щелочных (Na, K), например, ивсит и маттеучит [1], щелочноземельных (Mg) металлов и меди. Исследования термических фазовых превращений природных фаз и их термического поведения позволяют сделать вывод о том, в каком виде происходит осаждение природных фаз (минералов) в зонах активного вулканизма при разных температурах.

Объектами исследования являются синтетические аналоги ивсита  $\mathrm{Na_3H(SO_4)_2}$  и маттеучита  $\mathrm{NaHSO_4\cdot H_2O}$ . Методом кристаллизации из концентрированного раствора серной кислоты  $\mathrm{H_2SO_4}$  и сульфата натрия  $\mathrm{Na_2SO_4}$  получены образцы мелкозернистого ивсита (содержание фазы 85% + маттеучит и  $\mathrm{NaHSO_4}$ ) и крупного монокристалла маттеучита. Гидросульфат натрия  $\mathrm{NaHSO_4}$  образовывался в ходе экспериментов. При дальнейшем нагреве образовывались синтетические аналоги тенардита  $\mathrm{Na_2SO_4}$  (триг.) и метатенардита  $\mathrm{Na_2SO_4}$  (гекс.).

Термические фазовые переходы изучали методами порошковой терморентгенографии (дифрактометр Rigaku UtimaIV,  $CuK\alpha_{1,2}$ ) и терми-

ческого анализа (Netzsch STA 449–F3–Jupiter). Условия экспериментов следующие:

- для ивсита: терморентгенография в воздухе при 25÷850 °C и в вакууме при –180÷220 °C; ДСК/ТГ в воздухе 25÷1000 °C;
- для маттеучита: терморентгенография в воздухе при 25÷200 °C, в воздухе 4÷74 °C и в вакууме при –180÷200 °C; ДСК/ТГ в воздухе 30÷300 °C.

Фазовые переходы происходили в следующем порядке. Сначала дегидратировал маттеучит NaHSO $_4$ ·H $_2$ O до NaHSO $_4$ . Далее из NaHSO $_4$  выходят летучие компонент SO $_3$  и H $_2$ O и образуется ивсит Na $_3$ H(-SO $_4$ ) $_2$ . Он разлагается на тенардит Na $_2$ SO $_{4(\text{триг})}$  и Na $_2$ S $_2$ O $_7$  с выделением SO $_3$ . Тенардит Na $_2$ SO $_4$  (триг.) испытывает полиморфное превращение в метатенардит Na $_2$ SO $_4$  (гекс.), Na $_2$ S $_2$ O $_7$  разлагается до метатенардита с выделением SO $_3$ .

**Ивсит**  $\mathbf{Na_3H(SO_4)_2}$  имеет максимальное расширение по оси тензора  $\alpha_{11}$ , которая близка к оси c. С этой осью сонаправлены зигзагообразные цепочки из полиэдров натрия: с повышением температуры они частично распрямляются.

**Маттеучит NaHSO**<sub>4</sub>·**H**<sub>2</sub>**O** максимально расширяется вдоль осей  $\alpha_{22}$  и  $\alpha_{11}$ . Возможно, это связано с тем, что водородная связь ослабляет взаимодействие между атомами Na — O и S — O, и с ростом температуры в этих парах атомов связи изменяются сильнее.

**Гидросульфат натрия NaHSO**<sub>4</sub> максимально расширяется вдоль осей тензора  $\alpha_{22}$  и  $\alpha_{33}$ . В этом направлении расположились в ряд атомы водорода с заселенностью позиций 0,5. Вероятно они влияют на силу связи Na–O, с повышением температуры эти связи искажаются сильнее.

Благодарим М. Г. Кржижановскую за выполнение терморентгенографических экспериментов.

Исследования проведены в рамках гранта РФФИ 18–29–12106 с использованием оборудования ресурсного центра СПБГУ «Рентгенодифракционные методы исследования».

### Литература

1. Филатов С.К., Вергасова Л. П. Вулканология и сейсмология. № 5. – М.: Наука, 2012. – 3–12 с.

### ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КРИСТАЛЛОХИМИЯ МОЛИБДАТОВ МЕДИ

<u>Р. М. Исмагилова</u><sup>1</sup>, Е. С. Житова<sup>1,2</sup>, А. А. Золотарев мл. <sup>1</sup>, С. В. Кривовичев <sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

<sup>2</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 683006, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9

<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр Кольский научный центр Российской академии наук,

184209, Мурманская обл., г. Апатиты, ул. Ферсмана, 14 rezeda marsovna@inbox.ru

В природе соединения молибдена и меди образуются в фумарольных возгонах, в зонах окисления медно-сульфидных руд, в медистых песчаниках [1]. Всего на данный момент известно 7 минералов, относящихся к молибдатам меди. Молибдаты меди широко применяются в химической, металлургической и электротехнической промышленности в качестве пигментов и ингибиторов коррозии [2]. В последнее время особое внимание исследователей сосредоточено на магнитных и фотокаталистических свойствах некоторых молибдатов меди: линдгренита, купромолибдита и их синтетических аналогов, а также других синтетических фаз [2], при этом вопрос анизотропии термического поведения таких соединений до настоящего времени был мало изучен. Поэтому целью данной работы являлось исследование и описание поведения кристаллических структур при нагревании синтетических аналогов линдгренита  $\text{Cu}_3(\text{MoO}_4)_2(\text{OH})_2$  и купромолибдита  $\text{Cu}_3\text{MoO}_9$ , а также природного образца ссеничита  $\text{Cu}_3(\text{MoO}_4)(\text{OH})_4$ .

Высокотемпературное поведение данных соединений было изучено методами высокотемпературной порошковой рентгенографии и монокристального рентгеноструктурного анализа при разных температурах.

В ходе исследования при температуре около 325 °C была обнаружена дегидратация синтетического аналога минерала линдгренита  $\mathrm{Cu_3MoO_4(OH)_2}$  с образованием синтетического аналога купромолиб-

дита  $Cu_3MoO_9$ , а также разложение природного ссеничита  $Cu_3(MoO_4)$  (OH) $_4$  с образованием купромолибдита  $Cu_3MoO_9$  и тенорита CuO при температуре около 350 °C. При дальнейшем повышении температуры зарегистрировано разложение купромолибдита на оксиды меди и молибдена при температуре 825 °C.

По данным терморентгенографии также были рассчитаны зависимости параметров элементарной ячейки от температуры и основные коэффициенты термического расширения исследованных соединений. В табл. 1 приведены значения коэффициентов тензора термического расширения при T = 200 °C для линдгренита и ссеничита и при T = 600 °C для купромолибдита. Высокотемпературное поведение линдгренита, ссеничита и купромолибдита сильно анизотропно; значения  $\alpha_{_{max}}/\alpha_{_{min}}$ также приведены в таблице 1. Анизотропия теплового расширения вызвана искажением октаэдров СиО вследствие эффекта Яна-Теллера. В качестве примера на рис. 1 представлена корреляция фигуры тензора термического расширения и кристаллической структурой для ссеничита. Максимальное расширение при нагревании происходит вдоль доминирующего направления длинных (> 2 Å) <Cu-O> связей, в то время как направление минимального коэффициента теплового расширения совпадает с направлением коротких (< 2 Å) и, следовательно, более сильных <Сu-O> связей. Таким образом, было установлено, что значение анизотропии термического расширения напрямую коррелируется с трехмерной ориентацией длинных и коротких <Cu-O> связей для независимых позиций меди и взаимным расположением прочных связей <Mo-O> относительно <Cu-O>.

Таблица I Коэффициенты термического расширения (°C<sup>-1</sup>),  $\times 10^{-6}$ 

T, °C	$\alpha_{_{11}}$	$\alpha_{22}$	$\alpha_{_{33}}$	$\alpha_{_{ m V}}$	$\alpha_{V} = \alpha_{11} + \alpha_{22} + \alpha_{33}$	$\alpha_{\rm max}/\alpha_{\rm min}$			
Линдренит*									
200	5.7	6.3	25.5	37.6	37.5	4.5			
Ссеничит									
200	-5.3	49.4	8.5	52.6	52.6	9.3			
Купромолибдит									
600	14.1	8.4	5.2	27.7	27.7 2.				

<sup>\*</sup>  $\mu$  = 39.73° (угол между  $\alpha_{_{33}}$ и c)

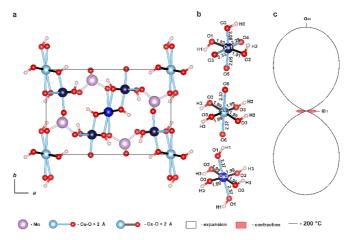


Рис. 1. Корреляция фигуры КТР и кристаллической структуры ссеничита.

### Литература:

- Pekov I. V. New Minerals from Former Soviet Union Countries. 1998–2006.
   V. 11 Mineralogical Almanac, 2007. p. 112.
- Vilminot S., Gilles A., Mireille R. P., Françoise B. V., Mohamedally K. Magnetic Structure and Magnetic Properties of Synthetic Lindgrenite, Cu<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub>(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. V. 45(26) — Inorganic Chemistry, 2006. — p. 10938–10946.

Исследования проведены с использованием оборудования ресурсного центра «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного парка СПбГУ. Финансовая поддержка данного исследования обеспечена проектом Российского Научного Фонда (14—17—00071).

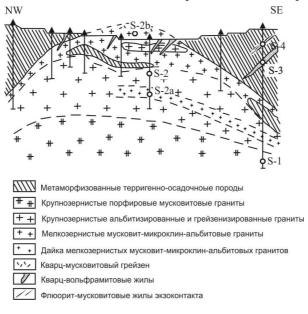
### ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ В ВОЛЬФРАМИТАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СПОКОЙНОЕ В ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ

### Д. М. Ковальчук

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 <a href="mailto:st048288@student.spbu.ru">st048288@student.spbu.ru</a>

Целью работы являлось выяснение особенностей типохимизма состава вольфрамитов месторождения Спокойное в Восточном Забайкалье.

Спокойнинский массив, с которым связано изучаемое месторождение, расположен на территории Хангилайского рудного узла. Центральный Хангилайский массив биотитовых и мусковитовых гранитов имеет два массива сателлита, сложенные рудоносными редкометальными гранитами, которые имеют различную геохимическую и металлогеническую специализацию: западный сателлит — Орловский массив сложен амазонитовыми гранитами с танталовой минерализацией, в то время как Спокойнинский массив представлен низкофтористыми



и малолитиевыми микроклин-альбитовыми гранитами с вольфрамовой минерализацией. В Спокойнинском массиве вскрывается разрез пород от мусковитовых гранитов до мусковитовых микроклин-альбитовых гранитов и кварц-мусковитовых грейзенов с вольфрамовой и бериллиевой минерализацией. Вершина купола этого массива завершается мощным кварц-полевошпатовым штокшайдером [1].

Для исследования были отобраны монофракции вольфрамита из гранитов, грейзенов и кварц-вольфрамитовых жил Спокойнинского месторождения. Были выполнены микрозондовые исследования 6 образцов вольфрамита (анализатор ТМ3000 НІТАСНІ, Япония) и обработаны данные о микроэлементном составе вольфрамитов, полученные методом LA-ICP-MS (76 точек-определений).

В результате проведённых исследований были установлены структуры распада, с образованием самостоятельных Sn-Nb-Ta фаз. По содержанию элементов-примесей вольфрамиты из гранитов и грейзенов Спокойнинского массива отличаются высокими содержаниями Та и Nb по сравнению с вольфрамитами сходных генетически объектов. Факторный анализ выявил геохимическую значимость для вольфрамитов таких элементов как Sc, In и Co. Спектры распределения РЗЭ изученных вольфрамитов, нормированные на содержание в хондрите отличаются повышенным содержанием тяжёлых РЗЭ относительно лёгких и выраженной отрицательной «европиевой аномалией». Вольфрамиты из гранитов и грейзенов заметно различаются по содержанию тяжёлых РЗЭ. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности дальнейшего исследования вольфрамитов для выяснения условий и механизмов рудообразования в редкометальных гранитах.

### Литература:

1. Баданина Е.В., Сырицо Л.Ф., Волкова Е.В., и др. Состав расплава Li-F гранитов и его эволюция в процессе формирования рудоносного Орловского массива в Восточном Забайкалье.//Петрология. 2010.С 1–29.

## АЛЮМЛИТИЕВЫЕ СЛЮДЫ ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕТСН (БРАЗИЛИЯ): СОСТАВ, СТРУКТУРА И ТИПОМОРФИЗМ

### А.Б. Леменіко

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

Впервые проведено исследование алюмолитиевых слюд из редкометальных гранитных пегматитов месторождения Petsch, Арасуаи, штат Минас-Жерайс на востоке Бразилии. Выявлен характер распределения политипов в зависимости от их состава. Полученные данные свидетельствуют в пользу отсутствия разрыва смесимости в ряду изученных алюмолитиевых слюд. По данным монокристальной съемки уточнены кристаллические структуры лепидолитов редких политипных модификаций —  $2M_1$  и 3T, проведен их детальный анализ.

Гипотеза данной работы состоит в том, что изоморфный ряд мусковит — лепидолит по химическому составу является непрерывным. В качестве объекта были взяты ранее не изученные алюмолитиевые слюды из редкометальных гранитных пегматитов месторождения Petsch, Арасуаи, штат Минас-Жерайс на востоке Бразилии. Образцы для исследования и данные микрорентгеноспектрального анализа были предоставлены директором фирмы ООО «Соколов» П. Б. Соколовым.

Рентгенографические исследования проведены в Ресурсном центре СПбГУ «Рентгендифракционные методы исследования» на порошковых дифрактометрах Miniflex II и Bruker D2 PHASER, монокристальном дифрактометре Bruker «Карра АРЕХ DUO». Микрозондовый анализ проведен во ВСЕГЕИ на сканирующем электронном микроскопе Supra 55 VP, оснащенного приставкой для микрорентгеноспектрального анализа X—Мах.

Установлено, что изученный образец образован минералами мусковитом, лепидолитом, альбитом, верделитом и колумбитом (рис. 1).



Рис. 1. Фото изучаемого образца

Мусковит образует крупные таблитчатые или столбчатые кристаллы псевдогексагонального габитуса в поперечном сечении. Лепидолит «обрастает» мусковит, образую вокруг него зону мощностью до 15мм с достаточно резкой границей между слюдами. При этом ориентировка кристаллов изменяется на 90°. Цвет лепидолита меняется от серебристого у границы с мусковитом до лиловато-сиреневого в центральной части зоны. Затем образуется «шубка» — мелкие хорошо ограненные столбчатые кристаллы слюды серебристого цвета.

Химический состав слюд. В пластинке зональной слюды мусковит-лепидолит, вырезанной по плоскости перпендикулярно спайности слюды, анализы проводились по профилю с шагом от 5 мм в центральной части кристалла мусковита до 0.03–0.10 мм в краевой части (снято 44 точки), что позволило получить очень детальные сведения о вариациях химического состава слюд. Изученные слюды дают практически непрерывный ряд составов от мусковита до почти предельного лепидолита, относящегося к ряду полилитионит — трилитионит (рис. 2).

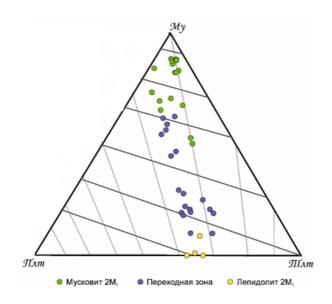


Рис. 2. Состав и политипная модификация исследованных слюд

Политипия и химико-морфологические особенности слюд. По данным рентгенографического исследования определена политипная модификация и рассчитаны параметры элементарной ячейки. Установлено, что изученные алюмолитиевые слюды относятся к политипной модификации  $2M_1$  или смеси  $2M_1 + 1M$  (с соотношением политипов 4:1 во всех изученных образцах). Выявлен характер распределения политипов в зависимости от их состава. Установлена зависимость морфологического облика индивидов от политипного состава образцов. Полученные данные свидетельствуют в пользу отсутствия разрыва смесимости в ряду изученных алюмолитиевых слюд, как ранее было установлена для слюд из различных месторождений России [1, 3, 4] Установлена зависимость параметров элементарной ячейки алюмолитиевых слюд политипной модификации  $2M_1$  и 1M от содержания лития. Вхождение катиона Li+ в структуру приводит к увеличению параметров ячейки а, b и уменьшению параметра с и угла  $\beta$ .

Уточнение кристаллических структур лепидолитов  $2M_1$  и 3T. По данным монокристальной съемки во внешней зоне образца, так называемой «шубке», установлены и уточнены кристаллические струк-

туры лепидолита  $2M_1$  (рис. 3) и лепидолита 3Т (рис. 4), проведен их детальный анализ. В этих образцах было установлено наиболее высокое содержание лития из представленной серии алюмо-литиевых слюд:

$$\begin{split} &(K_{0,82}Na_{0,05}Rb_{0,03})_{0,90}(Al_{1,29}Li_{1,47}Fe_{0,16}Mn_{0,02})_{2,94}[(Si_{3,39}Al_{0,61})\ O_{10}](F_{1,53}OH_{0,47})\\ &(K_{0,84}Na_{0,06}Cs_{0,01})_{0,91}(Al_{1,17}Li_{1,79}Fe_{0,11}Mn_{0,01})_{3,08}[(Si_{3,56}Al_{0,44})\ O_{10}](F_{1,85}OH_{0,15}) \end{split}$$

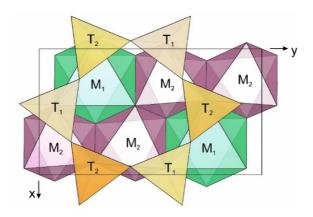


Рис. 3. Проекция кристаллической структуры лепидолита 3Т на плоскость (001)

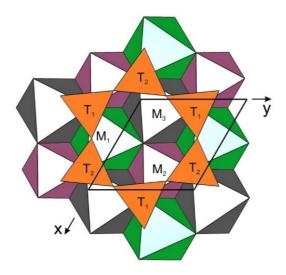


Рис. 4. Проекция кристаллической структуры лепидолита  $2M_{_1}$  на плоскость (001)

В обоих структурах тетраэдрических катионы распределены неупорядоченно, и тетраэдры имеют одинаковый состав в отличие от ранее исследованных литиевых слюд 3T [2, 5]. Координация межслоевого катиона также одинакова в обоих политипах. Установлено упорядоченное распределение катионов по октаэдрическим позициям, но с различной схемой распределения по транс- и цис-октаэдрам в лепидолитах 3T и  $2M_1$ .

Типоморфизм лепидолитов 2М, и 3Т. Чувствительным типоморфным признаком исследованных нами лепидолитов 2М, и 3Т является структурное состояние, обусловленное упорядоченным распределением катионов, в первую очередь октаэдрических. Можно предположить, что их образование происходило в специфических условиях. Эти модификации растут, если выполняется условие упорядоченного распределения катионов, чему способствует: слабое пересыщение среды и связанный с ним медленный рост, умеренные температуры (высокая температура будет препятствовать упорядочению катионов в структуре) и давление (значительное увеличение давления будет способствовать переходу  $3T \rightarrow 2M_1$ , сопровождающемуся уменьшением объема элементарной ячейки), относительно пониженное рН и в целом тектонически спокойная обстановка. В камерных пегматитах количество и качество драгоценных камней в значительной мере определяются режимом кристаллизации в постмагматический период формирования пегматитов. Поскольку лепидолит 3Т — индикатор спокойного (эволюционного) развития системы, то он является хорошим критерием продуктивности пегматитов. Лепидолит 3Т является спутником самоцветов и может быть использован для их оценки.

### Литература:

- 1. Гордиенко Н. М., Семенова Т. Ф., Симакова Ю. С. Состав и политипизм алюмолитиевых слюд в гранитных пегматитах. Минералогический журнал. 1991. Т. 13, № 5. С. 67–84.
- 2. Павлишин В. И., Семенова Т. Ф., Рождественская И. В. Протолитионит-3Т: структура, типоморфизм и практическое значение. Минералогический журнал. 1981. № 1. С. 47–60.
- 3. Пунин Ю. О., Котельникова Е. Н., Макагонова Ю. Е., Соколов П. Б. Гетерометрия и автодеформации в литиево-глиноземистых слюдах. Записки

- всероссийского минералогического общества. 1997. № 2. С. 2–36.
- 4. Соколов П. Б., Пунин Ю. О., Котельникова Е. Н. и др. Литий-глиноземистые слюды редкометальных пегматитов. (Об образовании скорлуповатых агрегатов литиевых слюд «барботов глаз»). Минералогический журнал. 1991. Т. 13. № 1. С. 41–59.
- 5. Brown B. E. The crystal structure of a 3T lepidolite. Amer. Miner. 1978. № 68. P. 332–336.

### ПРИРОДА ОКРАСКИ ТУРМАЛИНОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАНАКАН (АФГАНИСТАН)

<u>А. Д. Михеева</u> $^{1}$ , А. Г. Николаев $^{1}$ , Г. А. Юргенсон $^{2}$ , Б. М. Галиуллин $^{1}$ 

<sup>1</sup>Казанский федеральный университет, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18
<sup>2</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 672002, г. Чита, а/я 1032 miheevaangelina@yandex.ru

Цель данной работы — исследование природы окраски турмалинов с месторождения Канакан и выявления кристаллохимических особенностей их кристаллической структуры. Турмалин как ювелирный камень интересен, прежде всего, разнообразной красивой окраской, охватывающей всю цветовую гамму спектра, нередко глубокой и яркой с множеством тонов и оттенков. Все образцы имели яркий зеленый цвет с небольшим голубым оттенком.

Оптические спектры поглощения записывались на специализированном спектрофотометре SHIMADZU UV — 3600 в диапазоне длин волн 185–3300 нм. Дополнительно оптические спектры записывались на стандартизированном спектрофотометре МСФУ-К. Регистрация оптических спектров поглощения производилась в интервале длин волн 400–800 нм, с шагом 1 нм. Анализ химического состава турмалинов изучался с помощью сканирующего электронного микроскопа Phoenix XL-30 ESEM фирмы FEI с ЭДС-детектором EDAX.

Турмалин — сложный кольцевой боросиликат со следующей обобщенной кристаллохимической формулой, которая имеет вид  $XY_3Z_6[Si_6O_{18}][BO_3]_3(OH, F)_4$ , где X — Na, Ca, K; Y — Mg,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Li^+$ ,  $Cr^{3+}$ , Z —  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ .

Кристаллическая структура турмалина допускает возможность широких изоморфных замещений главным образом в его катионной части. Обычно выделяются два главных изоморфных ряда: железо-магниевый (шерл-дравитовый) и железо-литиевый (шерл-эльбаитовый). Конечны-

ми членами этих рядов являются шерл (происхождение термина точно не установлено) —  $NaFe^{2+}{}_3Al_{_6}[Si_{_6}O_{_{18}}][BO_{_3}]_{_3}(OH,F)_{_4}$ , дравит (по месту первой находки — району Драве в Югославии) —  $NaMg_{_3}Al_{_6}[Si_{_6}O_{_{18}}]$   $[BO_{_3}]_{_3}(OH,F)_{_4}$  и эльбаит (по острову Эльба) —  $Na(Li,Al)_{_3}Al_{_6}[Si_{_6}O_{_{18}}]$   $[BO_{_3}]_{_3}(OH,F)_{_4}$ . При этом между дравитом и эльбаитом предполагается разрыв смесимости [2].

При исследовании химического состава турмалинов было выявлено, что основными его элементами-хромофорами являются марганец и железо (табл. 1).

Общей особенностью оптических спектров поглощения турмалинов является наличие двух широких интенсивных полос поглощения в видимой и ближней инфракрасной области на длинах волн 715 и 1272 нм.

 $\it Tаблица.\ 1$  Химический состав турмалина (вес.%):

	О	Na	Al	Si	Ca	Mn	Fe
Край кри- сталла	53,70	3,81	22,80	18,47	0,29	0,89	0,54
Центр кристалла	53,81	1,99	22,71	18,96	0,48	1,06	0,98

Конфигурация спектров поглощения и значение энергий позволяет приписать наблюдаемые полосы электронным переходам в ионах  $Fe^{2+}$ , которые изоморфно входит в октаэдрические Y-позиции структуру турмалина. Полосы поглощения связанные с ионами  $Fe^{2+}$  в спектрах обусловлены разрешенными по спину переходами с основного состояния терма  ${}^5T_{2g}$  на более высокий энергетический уровень  ${}^5E_g$  соответственно [1,3,4]. Низкая точечная симметрия Y-позиции способствует расщеплению и вырождению  ${}^5E$ -уровня кристаллическим полем, что в свою очередь дает в спектрах две полосы поглощения в области 715 и 1272 нм.

Полоса поглощения в районе 510–530 нм связана по своему характеру и положению в спектре с ионами  $Mn^{3+}$ , в которых разрешены по спину ионные d-d переходы  ${}^5{\rm E}_{\rm g} \rightarrow {}^5{\rm T}_{2\rm g}$ . Данные ионы находятся в октаэдрической Y-позиции в структуре турмалина.

В ближней инфракрасной области спектров турмалинов фиксируются узкие полосы поглощения в области 1300—1500 и 2100—2500 нм. Эти узкие линии связаны с колебаниями ОН-групп в кристаллической структуре минерала. В области 2600—3100 нм фиксируются бесструктурные колебания, связанные с молекулами воды во флюидных включениях в турмалинах.

В ходе проведенных исследований были проанализированы оптические спектры поглощения изумрудов с месторождения Канакан (провинция Нуристан, Афганистан) и исследована природа их окраски. Природа окраски связана исключительно с ионами  $Fe^{2+}$ , которые изоморфно входят в Y-позицию структуры турмалина. Незначительно на окраску также влияют ионы  $Mn^{3+}$ .

#### Литература:

- 1. Бахтин А.И. Породообразующие силикаты: Оптические спектры, кристаллохимия, закономерности окраски, типоморфизм. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1985.— 192 с.
- 2. Киевленко Е.Я. Геология самоцветов. М.: Издательство Земля. Ассоциация ЭКОСТ, 2000.— 582 с.
- 3. Платонов А.Н., Таран М.Н., Балицкий В.С. Природа окраски самоцветов. М.: Изд-во Недра, 1984.— 196 с.
- 4. Свиридов Д.Т., Свиридова Р.К., Смирнов Ю.Ф. Оптические спектры ионов переходных металлов в кристаллах. М.: Изд-во Наука, 1976.— 266 с.

### ТИПОМОРФИЗМ ФЛЮОРИТА ПРАВОУРМИЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК

### В. А. Прокопец

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 prokopvikap@mail.ru

В последнее время наблюдается тенденция к выработке и истощению существующих месторождений полезных ископаемых. Отсюда возникает необходимость в разведке более мелкомасштабных и труднодоступных месторождений, по этой причине эффективно применяются знания о типоморфизме минералов.

Цель исследования — выявление закономерностей изменения особенностей флюорита в зависимости от условий его формирования.

В задачи входило знакомство с понятием о типоморфизме минералов, документация и фотографирование образцов флюорита из месторождений различных генетических типов, рассмотрение типохимизма флюорита Правоурмийского оловорудного месторождения.

Типоморфизм минералов — зависимость некоторых особенностей минерала, таких как структура, химический состав, свойства и морфология выделения от условий его образования [1]. На примере флюорита Правоурмийского месторождения рассмотрено выделение 4 типов флюорита, отобранных из различных минеральных ассоциаций.

Флюорит является сквозным минералом, то есть прослеживается на всех стадиях минералообразования, образуется в широком интервале P-T условий, присутствует на месторождениях различных генетических типов и кристаллизуется на ранних стадиях минералообразования.

Одним из наиболее характерных свойств флюорита является его окраска. Считается, что цвет минерала имеет радиационную природу, связанную с кислородными центрами и собственными дефектами структуры. Не меньшее значение имеет форма кристаллов, которая может изменяться от октаэдрической до кубической и даже более редким в за-

висимости от физико-химических условий формирования [2]. Важной особенностью флюорита является его способность люминесцировать.

Известно, что флюорит состоит из 2 главных химических элементов: Са и F, но также может содержать до 78 различных элементов-примесей, наиболее интересными для нас из которых являются редкоземельные элементы.

Правоурмийское месторождение расположено в Хабаровском крае на Дальнем Востоке. Появление руды связано с лейкократовыми гранитами и позднемеловыми игнимбритами риолитов в восточной части Верхнеурмийского массива.

На основе имеющихся данных было выявлено, что изменение минеральной ассоциации кореллирует с цветом (см. табл. 1), а также морфологией минерала, более того оно зависит от температуры минералообразования.

Таблица 1 Окраска флюорита разных стадий минералообразования

Стадия	Минеральная ассоциация	Цвет флюорита
1	Флюорит, сидерофиллит, кварц, топаз	Бесцветный
2	Флюорит, кварц, топаз	Лилово-розовый
3	Флюорит, кварц, турмалин	Фиолетовый
4	Флюорит, кварц, карбонаты	Зеленый

В ходе работы был выполнен анализ флюорита различных стадий минералообразования методом ИСП МС. Было изучено по 3 пробы каждой разновидности флюорита, измерено содержание РЗЭ в них, а также рассчитаны некоторые оценочные показатели.

Для каждой стадии были построены графики распределения РЗЭ во флюорите, которые показали различные очертания европиевой аномалии, что связано со сменой условий минералообразования. Для характеристики глубины аномалии было рассчитано отношение Eu/Eu\*. Также была построена треугольная диаграмма распределения РЗЭ во флюорите, согласно которой для каждой стадии характерен соответствующий набор РЗЭ.

Для общей оценки содержания РЗЭ во флюорите были построены графики содержания РЗЭ во флюоритах Правоурмийского месторождения, из которых видно, что максимальная концентрация РЗЭ и отношения элементов цериевой группы к иттриевой фиксируется во флюорите 3-й стадии, следовательно, 3-я стадии минералообразования соответствуют наиболее щелочным условиям, а 2-я — рудная — более кислым условиям минералообразования.

Более того было проведено сравнение аналогичных флюоритов Правоурмийского месторождения и месторождения Акчатау, которое показало, что флюориты Правоурмийского месторождения в целом содержат больше РЗЭ, и они формировались в более щелочных по сравнению с Акчатау условиях.

Изучение типоморфизма минералов является одним из наиболее доступных методов поисков и разведки месторождений. Используя данные по составу РЗЭ в минерале, можно легко определить его условия минералообразования: щелочность-кислотность среды, температуру образования, а также некоторые другие характеристики исследуемого минерала.

#### Литература:

- 1. Гавриленко В.В., Панова Е.Г. Геохимия, генезис и типоморфизм минералов месторождений олова и вольфрама.— СПб.: Невский курьер, 2001.— 259 с.
- 2. Чернышева Л.В. Типоморфизм минералов: Справочник.— М.: Недра, 1989.— 560 с.

# ТЕРМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СУЛЬФАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

<u>О. Ю. Сапрыкина<sup>1</sup></u>, С. К. Филатов<sup>1,2</sup>, Р. С. Бубнова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

<sup>2</sup>Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук, 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2 st012985@student.spbu.ru

В минералах, образовавшихся при высоких температурах, при охлаждении происходят разнообразные термические процессы, в числе которых процессы «порядок-беспорядок», а также распад твердых растворов. Яркий пример процессов «порядок-беспорядок» в минералогии дают сульфаты щелочных металлов, при охлаждении которых сужается область изоморфной смесимости, меняется заселенность позиций и степень упорядочения. Интерес к сульфатам щелочных металлов связан также с тем, что они являются радиационно — чувствительными материалами и применяются в качестве различных детекторов электромагнитного излучения (Nurakhmetov at al., 2006).

Объектами исследования являлись образцы ряда синтезированных сульфатов щелочных металлов рядов  ${\rm Li_2SO_4-Na_2SO_4}$ ,  ${\rm Li_2SO_4-K_2SO_4}$ ,  ${\rm K_2SO_4-Na_2SO_4}$ . Выбор объектов обусловлен как решением упомянутых фундаментальных проблем, так и поиском новых перспективных материалов с особыми физическими свойствами.

Для изучения термического поведения образцов упомянутых рядов, были использованы механические смеси сульфатов лития, натрия и калия в различных пропорциях. Терморентгенографическая съемка выполнялась в ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования» научного парка Санкт-Петербургского государственного университета к.г.-м.н., доцентом кафедры кристаллографии ИНоЗ СПБГУ М.Г. Кржижановской. Компьютерную обработку терморентгенографических данных осуществлял автор

данной работы в программе X-Ray ThetaToTensor (Бубнова, Фирсова, Филатов, 2013).

#### Литература:

- 1. Бубнова Р. С., Фирсова В. А., Филатов С. К. Программа определения тензора термического расширения и рисования его характеристической поверхности (ThetaToTensor-TTT) // Физика и химия стекла. 2013. Т. 39. С. 505–509.
- 2. Nurakhmetov T., I. Tokbergenov, E. Feldbach, M. Kerikmae, A. Lushchic, V. Nagirnyi, F. Savikhin, and E. Vasil'chenko, Radiat. Eff. Defects Solids // Phys. Rev. 2006. P. 103–150.

# ГЕОХИМИЯ АМФИБОЛОВ И ГРАНАТОВ ИЗ ЭКЛОГИТОВ БЕЛОМОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА (НА ПРИМЕРЕ О-ВА ВИЧЕННАЯ ЛУДА)

<u>Л. И. Салимгараева<sup>1</sup></u>, С. Г. Скублов<sup>2,1</sup>, А. В. Березин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

<sup>2</sup>Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2 fluoritecaf2@mail.ru

Корректное датирование эклогитов требует сочетания изотопно-геохимических методов с анализом данных по распределению редких и редкоземельных элементов в породообразующих и акцессорных минералах, что особенно важно для эклогитов Беломорского подвижного пояса (БПП), возраст которых — предмет острейшей дискуссии.

Эклогиты в гнейсах часто представлены будинами различного размера с четко выраженной каймой амфиболизации. Эта особенность, интерпретируемая как результат регрессивной ветви метаморфизма, была отмечена ещё П. Эскола [3]. Ранее для салминских эклогитов северо-запада БПП были описаны наложенные процессы амфиболизации и гранатизации с обогащением пород LREE, MREE, Rb, Ba, Th, Nb и обеднением Mg и Cr при амфиболизации; а также обогащением Fe, Ti, V и обеднением Ni, Cr, Mg, Ва при гранатизации [2]. Приконтактовая амфиболизация метабазитов Керетского архипелага происходила при Т около 620 °C и Р 2–2.5 кбар около 1870 млн. лет назад [1]. В настоящем сообщении приводятся результаты исследования амфиболов и гранатов из эклогитов центральной части будины, расположенной на о-ве Виченная луда, и из каймы амфиболизации (рис. 1а). Содержание редких и редкоземельных элементов в минералах было определено на ионном микрозонде Cameca-IMS-4f в ЯФ ФТИАН после предварительного исследования методом SEM-EDS в ИГГД РАН.

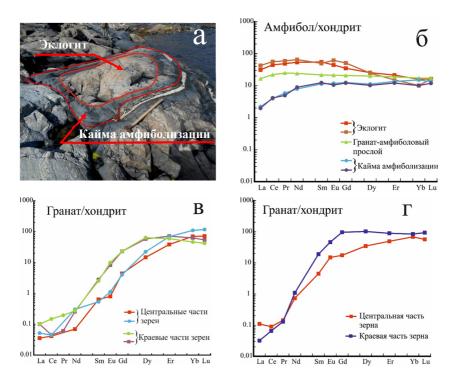


Рис. 1. Фото будины эклогитов с каймой амфиболизации (a) и спектры распределения REE в амфиболах (б), гранатах из гранат-амфиболовых прослоев (в) и из эклогита (г).

Амфибол из каймы амфиболизации резко отличается от амфибола из эклогита пониженным содержанием LREE и части HREE (рис. 16). Амфибол из гранат-амфиболовых прослоев в эклогите занимает промежуточное положение. В этом ряду суммарное содержание REE уменьшается примерно от 100 до 20 ррт. Также фиксируется значительное понижение содержания Ti, V, Sr, Y, Nb и Ba. Подобное закономерное изменение состава амфиболов характерно при понижении температуры метаморфизма [4]. Спектры распределения REE во всех гранатах отличаются для центральных и краевых частей зерен (рис. 1в, г). В краевых зонах гранатов повышается содержание MREE и части HREE (Gd и Dy). При этом повышается содержание Y и Hf, понижается — Ti, V и Cr. Поведение Y косвенно указывает на понижение температуры метаморфизма.

Следует отметить, что проявленные в минералах отличия в содержании редких элементов практически не наблюдаются на породном уровне (фиксируется некоторое увеличение содержания К и Сs и уменьшение Sr в кайме амфиболизации). Можно предположить, что часть элементов (REE, Nb, Cr, V) в ходе регрессивной ветви метаморфизма перераспределяется в состав акцессорных минералов (например, титанита и магнетита) или между амфиболом и гранатом, как в случае с Y.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-55-53022).

#### Литература:

- 1. Березин А.В., Скублов С. Г. Эклогитоподобные апогаббровые породы Керетского архипелага (о-ва Сидоров и Большая Илейка, Белое море): особенности состава, условия и возраст метаморфизма // Петрология. 2014. Т. 22. № 3. С. 265–286.
- 2. Мельник А. Е. Эклогиты северо-западной части Беломорского подвижного пояса: геохимическая характеристика и время метаморфизма. Автореф. ... канд. геол.-мин. наук. СПб.: ИГГД РАН, 2015. 22 с.
- 3. Eskola P. On the eclogites of Norway. Oslo Videbsk. Skr., I, Mat.-Naturw. Kl. 1921. No. 8. 118 p.
- Skublov S., Drugova G. Patterns of trace-element distribution in calcic amphiboles as a function of metamorphic grade // Canadian Mineralogist. 2003. Vol. 41. P. 383–392.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СИЕНИТОВОГО МАССИВА МАДИАПАЛА, ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЗОНА КОМПЛЕКСА ЛИМПОПО, ЮАР

<u>Н. Е. Селютина</u> <u>1,2</u>, О. Г. Сафонов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский Государственный Университет имени М.В.Л омоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

<sup>2</sup>Институт экспериментальной минералогии им. академика Д.С. Коржинского РАН, 142432, Московская область, Черноголовка, ул. Лесная, д. 9

Nata-me98@mail.ru

Объект исследования данной работы — сиенитовый массив Мадиапала, он расположен в западной части Центральной Зоны комплекса Лимпопо. Массив представляет собой тело сиенитов, залегающее в толще тоналит-трондьемитовых гнейсов формации Олдейз (возраст 2610–2650 млн. лет). Согласно геохронологическим данным, полученным методом SHRIMP по соотношению <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb в 23 анализах сфенов [3], возраст самих сиенитов массива составляет 2010.3±4.5 млн. лет. Этот возраст соответствует палеопротерозойскому тектоно-термальному событию (D3/M3), которое во многом определялось мощной флюидной проработкой вдоль зон сдвигово-пластических деформаций (shear-zones) в Центральной Зоне комплекса Лимпопо.

Благодаря ранним исследованиям массива с помощью метода псевдосечений (программный комплекс THERMOCALC) в системе  $Na_2O$ -CaO- $K_2O$ -FeO-MgO- $Al_2O_3$ - $H_2O$ -TiO $_2$ -Fe $_2O_3$  (NCKFMASHTO), для ассоциаций сиенитов было установлено, что пиковые значения P-T параметров для этих пород составляли 6 кбар и 770°C. Эти данные были интерпретированы как условия метаморфизма ранее существовавших сиенитов в ходе метаморфического этапа D3/M3[2]. Однако, основываясь на экспериментальном изучении взаимодействия биотит-амфиболового тоналитового гнейса с флюидами  $H_2O$ -CO $_2$ -(K, Na)Cl при 750 и 800°C и 5.5 кбар[4, 5], была предложена иная модель образования сиенитов втоналит-трондьемитовых гнейсах Олдейз,— сиениты массива

могут быть продуктами процесса сиенитизации тоналитовых гнейсов, схожим с гранитизацией, но с участием богатых солевой составляющей водно-углекислых флюидов. Эти эксперименты продемонстрировали, что определяющим фактором образования сиенитовой ассоциации за счет ассоциации исходных гнейсов является возрастание активности калия во флюиде, связанной с солевой составляющей флюида.

Для оценки условий формирования наиболее ранней ассоциации минералов (калиевый полевой шпат + клинопироксен + титанит ± апатит), и сравнения наших данных с другими авторами, с помощью программного комплекса PERPLE\_X [1] (версия 6.7.7 для Windows), для валовых химических составов сиенитов были рассчитаны P-T псевдосечения, а так же изоплеты магнезиальности и содержания Na (ф.е.) в клинопироксене в ассоциации с щелочным полевым шпатом и титанитом (Рис. 1).

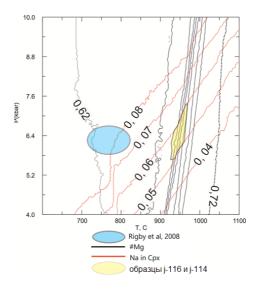


Рис. 1. Изоплеты магнезиальности и содержания Na (ф. е.) в клинопироксене из образцов j-116 j-114 сиенитов комплекса Мадиапала.

Таким образом, установленные условия образования первичной магматической сиенитовой ассоциации соответствуют температурному интервалу 930–960°С и давлениям 5.6–7.4 кбар.

Оценка влияния активности  $K_2$ О на гнейсы Олдейз посредством расчета диаграмм (псевдосекций) в координатах  $\lg(a_{\rm H2O}) - \lg(a_{\rm K2O})$  показало, что преобразование ассоциации гнейса в сиенитовую ассоциацию возможно при постоянных P и T за счет увеличения активности  $K_2$ О (рис. 2).

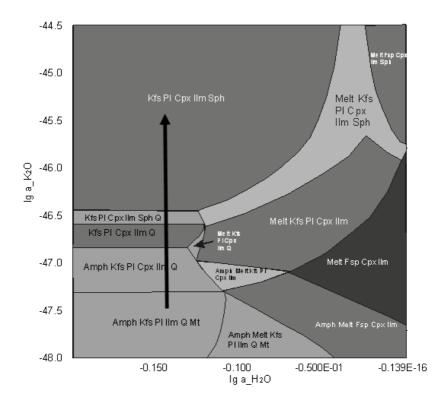


Рис. 2. Диаграмма в координатах lgaH2O-lgaK2O, для состава 98 из работы Л. Л. Перчука с соавторами [6]

Формирование первичной ассоциации сиенитов массива Мадиапала происходило при давлениях 6–7 кбар и температурах более 900°С в ходе проработки тоналитовых гнейсов Олдейз водно-углекисло-солевым флюидом, в котором ведущую роль играл солевой компонент, богатый калием. Образование же амфиболсодержащих ассоциаций, исследованных М. Ригби с соавторами [2], происходило на фоне остывания

сиенитовой магмы. Этой стадии соответствовал рост активности  $Na_2O$ , что приводило к замещению ассоциации клинопироксена с калиевым полевым шпатом ассоциацией амфибола и альбита. Близкие значения давления указывают на то, что остывание сиенитовой магмы проходило на одном уровне глубинности (около  $18-20~\mathrm{km}$ ).

#### Литература:

- 1. Connolly J. A. D. Computation of phase equilibria by linear programming: a tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation //Earth and Planetary Science Letters. 2005. T. 236. № . 1–2. C. 524–541.
- 2. Rigby M., Mouri H., Brandl G. PT conditions and the origin of quartzo-feld-spathic veins in metasyenites from the Central Zone of the Limpopo Belt, South Africa //South African Journal of Geology. 2008. T. 111. № . 2–3. C. 313–332.
- 3. Rigby M. J., Armstrong R.A. SHRIMP dating of titanite from metasyenites in the Central Zone of the Limpopo Belt, South Africa //Journal of African Earth Sciences. 2011. T. 59. № 1. C. 149–154.
- 4. Safonov O. G., Kovaleva, E. I., Kosova, S. A., Rajesh, H. M., Belyanin, G. A., Golunova, M. A., & Van Reenen D.D. Experimental and petrological constraints on local-scale interaction of biotite-amphibole gneiss with H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-(K, Na) Cl fluids at middle-crustal conditions: Example from the Limpopo Complex, South Africa //Geoscience Frontiers. 2012. T. 3. № 6. C. 829–841.
- 5. Safonov O. G., Aranovich L. Y. Alkali control of high-grade metamorphism and granitization //Geoscience Frontiers. 2014. T. 5. № . 5. C. 711–727.
- 6. Perchuk L. L., Van Reenen D. D. Reply to "Comments on "P–T record of two high-grade metamorphic events in the Central Zone of the Limpopo Complex, South Africa" by A. Zeh and R. Klemd //Lithos. 2008. T. 106. № . 3–4. C. 403–410.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ№ 16-05-00266

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ АЛЕКСАНДРИТОВ И ИХ СИНТЕТИЧЕСКИХ АНАЛОГОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ В ПРИКЛАДНОЙ ГЕММОЛОГИИ

<u>Л. Р. Тагирова<sup>1</sup></u>, А. Г. Николаев<sup>1</sup>, М. П. Попов<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Казанский федеральный университет, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18 <sup>2</sup>Уральский государственный горный университет, Институт геологии и геохимии, 620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30 leisan9824@mail.ru

Цель данной работы — выявление кристаллохимических особенностей и природы окраски природных александритов и их синтетических аналогов. Образцами для проведения исследований послужили образцы александритов из слюдитов и пегматитов Уральских изумрудных копей, а также их синтетические аналоги, выращенные раствор-расплавным методом.

Исследования проводились методом оптической абсорбционной спектроскопии. Оптические спектры поглощения записывались на стандартизированном спектрофотометре МСФУ — К. Регистрация оптических спектров поглощения производилась в интервале длин волн 400–800 нм, с шагом 1 нм. Дополнительно оптические спектры поглощения записывались на специализированном спектрофотометре SHIMADZU UV — 3600 в диапазоне длин волн 185–3300 нм.

Хризоберилл (BeAl $_2$ O $_4$ ) кристаллизуется в ромбической сингонии (точечная группа D $_2$ h, mmm, пространственная группа Pbnm), параметры элементарной ячейки: a=4.424 Å, b=9.393 Å, c=5.473 Å. Структура представлена двумя типами октаэдров AlO $_6$  со средним межатомным расстоянием Al $_{\rm M1}$  — O = 0,189 нм; Al $_{\rm M2}$  — O = 0,194 нм. Al-октаэдры связаны общими ребрами в зигзагообразные цепочки, которые соединяются вместе тетраэдрами BeO $_4$  с межатомным расстоянием Be — O =

0,163 нм; О — O = 0,25 нм (для общих ребер многогранников), О — O = 0,274 нм [1, 3].

В оптических спектрах поглощения александритов наблюдается интенсивное поглощение в ультрафиолетовом диапазоне длин волн, связанное с переносом заряда  $O^{2-} \to Fe^{3+}$ . В видимом диапазоне проявляются две полосы поглощения, характерные для спектров  $Cr^{3+}$ -соединений и минералов. Длинноволновая полоса поглощения 578-602 нм связана с электронным переходом  $^4A_{2g} \to ^4T_{2g}$ , а коротковолновая полоса поглощения 418-428 нм — с переходом  $^4A_{2g} \to ^4T_{1g}$  [2, 4]. Конфигурация спектров поглощения и значение энергии полос поглощения позволяет приписать наблюдаемые полосы электронным переходам в ионах  $Cr^{3+}$ , которые изоморфно замещают ионы  $Al^{3+}$  в октаэдрических позициях структуры хризоберилла.

В природных образцах александритов в районе 438–443 нм наблюдается узкая полоса поглощения малой интенсивности, связанная с спин-запрещенным электронным переходом  $^6A_{1g} \rightarrow ^4A_{1g}, ^4E_g (^4T_{2g})$  в ионах  $Fe^{3+}$ , которые занимают позиции Al в структуре хризоберилла. В синтетических образцах данная полоса поглощения отсутствует.

По результатам интерпретации оптических спектров поглощения александритов был проведен расчет координат цветности по международной колориметрической системе МКО — 1931. Расчеты были произведены для источника света А «лампа накаливания» и для источника D65 «солнечный свет». Доминирующая длина волны основного цветового тона природных и синтетических александритов при источнике А составила  $\lambda = 500,8-596,8$  нм, а величина насыщенности основного цветового тона изменялась в пределах 6,85–40,15%. Длина волны основного цветового тона при источнике D65 составила  $\lambda = 503,7-572,7$  нм, а величина насыщенности основного цветового тона изменялась в пределах 2,68–45,26%.

Оптические спектры поглощения, дополнительно полученные на SHIMADZU UV — 3600 подтвердили результаты предыдущие результаты. В ультрафиолетовой области в природных александритах на длинах волн 322 и 372 нм были обнаружены полосы поглощения, которые связаны с ионами  $Fe^{3+}$ . Что также подтверждает вывод о нахождение

данного иона только в природных александритах. В ближней инфракрасной области в диапазоне длин волн 2700—3300 нм были обнаружены колебательные линии, связанные с молекулярной водой во флюидных включениях и комплексом ОН<sup>-</sup> в кристаллической структуре минерала. Данные линии присутствуют только в природных александритах, а синтетических образцах они отсутствуют. В природных александритах были выявлены полосы поглощения в районе 438—443 нм, на длинах волн 322 и 372 нм которые связанны с электронными переходами в ионах Fe<sup>3+</sup>, а в синтетических аналогах полосы поглощения связанные с ионами Fe<sup>3+</sup>, отсутствуют. В ближнее инфракрасном диапазоне синтетических александритов отсутствуют полосы связанные с колебаниями молекул воды и ОН<sup>-</sup> комплексов. Данные результаты могут быть использованы в идентификации природных александритов и их синтетических аналогов, изготовленных раствор-расплавным методом, и служить хорошим диагностическим методом в прикладной геммологии.

#### Литература:

- 1. Минералы, справочник. Т. 2. Вып. 3.— М.: Наука, 1967.— С. 118–126.
- 2. Платонов А. Н. Природа окраска минералов. Киев: Наукова думка, 1976. 264 с.
- 3. Платонов А.Н., Таран М.Н., Балицкий В.С. Природа окраски самоцветов.— М.: Недра, 1984.— 196 с.
- 4. Свиридов Д.Т., Свиридова Р.К., Смирнов Ю.Ф. Оптические спектры ионов переходных металлов в кристаллах.— М.: Изд-во Наука, 1976.— 266 с.

# НАПРАВЛЕННОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛОВ

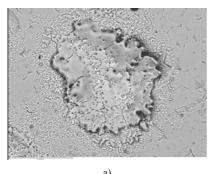
<u>И. А. Хабарова</u><sup>1</sup>, И. Ж. Бунин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, 111020, Москва, Крюковский туп., д. 4 xabosi@mail.ru

Перспективы применения электроимпульсных технологий (Pulsed Power technologies) в процессах обогащения полезных ископаемых обусловили необходимость проведения специальных исследований по влиянию мощных наносекундных электромагнитных импульсов (МЭМИ) на структурное состояние, фазовый состав и физико-химические свойства поверхности сульфидных минералов [1–3].

На основе разработанного комплексного подхода к изучению структуры и свойств геоматериалов получены новые экспериментальные данные о механизмах формирования микро- и нанофаз на поверхности халькопирита (CuFeS $_2$ ) и сфалерита (ZnS) при воздействии наносекундных электромагнитных импульсов ( $E \sim 10^7 \mathrm{B/m}$ ;  $\tau$  (имп)  $\sim 10$  нс).

Методами растровой электронной микроскопии (РЭМ), рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) и сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ, ИНТЕГРА Прима, НТ-МДТ) на поверхности халькопирита обнаружены три морфологических типа новообразований, отвечающих процессам структурно-химических преобразований поверхности минералов в результате электромагнитного импульсного воздействия: 1 — трещиноватые плотные «покровы» размером до 100 мкм с локальными утолщениями натечной неправильной формы (рис. 1а), в ряде случаев декорирующие или закрывающие устья каналов пробоя; 2 — сфероидальные образования размером от 3 мкм и менее (рис. 1б), расположенные в областях выходов каналов пробоя; 3 — тончайшие пленки третьей фазы ( $z \le 100$  нм), предположительно, безводных сульфатов меди, равномерно покрывающие поверхность сульфидов.



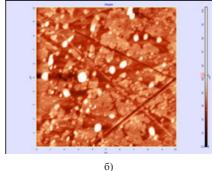


Рис. 1. Новые фазы на поверхности халькопирита в результате электромагнитного воздействия: РЭМ — РСМА (а), АСМ (б), поле сканирования: 10x10 мкм, высота  $Z\sim100$  нм

В отличие от халькопирита существенное изменение морфологии поверхности сфалерита было отмечено лишь для образцов, подвергнутых продолжительной электроимпульсной обработке ( $\geq 5\cdot 103$  импульсов). На поверхности минерала наблюдались выходы микроканалов пробоя и сфероидальные образования размером от 3 мкм и менее, локализующиеся вдоль дефектов поверхности (рис. 1д); энергодисперсионные спектры от этих автономных фаз содержали хорошо различимый пик кислорода.

По данным РЭМ — РСМА, АСМ и ИК-спектроскопии высоковольтные наносекундные импульсы в диапазоне изменения дозы электромагнитного воздействия 0.1–1 кДж (10³–10⁴ импульсов) вызывают образование и накопление в составе поверхностного слоя халькопирита сульфата меди CuSO4, а сфалерита — сульфата ZnSO4 и карбоната цинка ZnCO3. Увеличение интенсивности воздействия МЭМИ до 1.5 кДж приводит к окислению сульфатов и образованию оксидов меди CuxOy и цинка ZnO на поверхности сульфидов. Образующиеся микрои нанофазы способствуют изменению поверхностных и, как следствие, технологических свойств сульфидных минералов.

Для мономинеральной флотации халькопирита и сфалерита установлен и экспериментально обоснован оптимальный режим предварительной электромагнитной импульсной обработки сульфидов (диапазон изменения числа МЭМИ от  $0.5 \cdot 10^3$  до  $3 \cdot 10^3$  импульсов), при

котором (в среднем на 10–15%) повышается флотируемость минералов. Получены новые экспериментальные данные об однонаправленном изменении электрохимических свойств халькопирита и сфалерита вследствие предварительной электроимпульсной обработки минералов — увеличении положительного значения электродного потенциала минералов, что способствует увеличению адсорбции анионного собирателя (ксантогената) и флотируемости минералов.

#### Литература:

- 1. Рязанцева М. В. Механизм воздействия наносекундных электромагнитных импульсов на структурно-химические и флотационные свойства пирита и арсенопирита. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2009.
- 2. Хабарова И. А. Повышение контрастности физико-химических и флотационных свойств пирротина и пентландита на основе использования электромагнитного импульсного воздействия // Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2011.
- 3. Чантурия В.А., Трубецкой К.Н., Викторов С.Д., Бунин И.Ж. Наночастицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов. М., 2006.

Автор выражает благодарность канд. геол.-мин. наук Е.В. Копорулиной и канд.техн.наук М.В. Рязанцевой за помощь в выполнении исследований

# Региональные геологические исследования

# IDENTIFICATION OF THE CENTRAL FAULT OF TABAS BLOCK AS A DEEP STRUCTURE AND ITS TECTONIC PROPERTIES BY USING GEOPHYSICAL DATA AND REMOTE SENSING METHODS

A. Sohrabi<sup>1</sup>, I. V. Talovina<sup>1</sup>, S. Beygi<sup>1</sup>, N. P. Senchina<sup>1</sup>, H. Safaei<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD student, Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, 21 line, 2

<sup>2</sup>University of Isfahan, Hezar Jarib Street, Isfahan 81746-73441, Iran <u>arashshrbi@Gmail.com</u>

The Turkish-Iranian Plateau is an actively deforming zone that has resulted from the collision between the Arabian and Eurasian plates within the greater Alpine-Himalayan collisional belt (Javadi et al., 2013). The collision resulted in major crustal thickening, folding, thrusting and strikeslip faulting. Key component of the eastern Turkish–Iranian plateau is the Central Iranian Microplate (CIM), which is bounded by the Doruneh Fault System to the north, the Nehbandan fault zone to the east, and the Dehshir fault to the west and southwest (Fig. 1A). Internally, the CIM is composed of the smaller Lut, Tabas, Posht-e-Badam and Yazd blocks, which all of them are separated by linear to curvilinear N-S right-lateral strike-slip faults (Berberian & King, 1981; Tirrul et al. 1983; Aghanabati, 2004) (Fig. 1A). The Tabas Block is surrounded by the Nayband fault to the east and the Kalmard and Kuhbanan faults to the west. The main aim of this study is analyze of the faults in the Tabas block by using remote sensing and gravity data in order to identify basement faults and introducing fault in the central part of the Tabas block which are responsible for dividing the area to the separated blocks. Remote sensing techniques have been extensively used to detect the structural framework of investigated areas, which includes lineaments, fault zones and fracture patterns. The identification of these features is fundamental in exploration geology, as it allows the definition of suitable sites for the exploitation of different resources (e.g. ore mineral, hydrocarbon, geothermal energy and groundwater). Generally, the gravity map resulted from Bouguer anomaly reflect quite well the planar distribution of the faults with large scale in the area of Tabas block study. Our data interpretation methods generally focus on the application of numerically evaluated gradients (Euler deconvolution filter) techniques.

To determine the structures of the area, the ETM<sup>+</sup> image by applying various filters such as Sobel filter (Fig. 1C) and gravity data by applying Euler deconvolution filter have processed and the situation of basement and hidden faults was identified and confirmed (Fig. 1D). Figure 1 shows the mapped faults of the Tabas block. Two obtained major trends from the interpretation are include (Fig. 1B,): (1) The NNE-SSW trend is represented by Nayband and north part of Kalmard fault. (2) The NW-SE trend is indicated by Kuhbanan fault. Also, by using different filters on the satellite images, we identified a lineament with north - south trending in the central part of Tabas block. This fault has been identified for the first time in the region. This is introduced as the fault that divides the Tabas block into two parts (Fig. 1E). The identification of movement mechanism of major part of this fault in the basement, and time of their activities are important parameters for evaluation of paleogeography of the Tabas block. These fault system were formed during closure of the Neothetys and developed by collision of the Arabic plate with crust of Iran.

Major faults discussed in the text are shown. B: satellite image of the study area and the effect of main faults on the basement. C: Sobel filter on the satellite image of the study area. D: Gravity map of the study area and the effect of main faults on the basement. E: Faults extracted from remote sensing on satellite imagery and gravity map.

#### References

- 1. Aghanabati, A., 2013, Geological Map of Abdoughi: Tehran, Geological Survey of Iran, scale 1:250,000.
- 2. Berberian, M. & King, G. C. P. 1981. Towards a palaeogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences 18, 210–65.
- 3. Javadi, H.R., Ghassemi, M.R., Shahpasandzadeh, M., Guest, B., Esterabi Ashtiani, M., Yasaghi, A., and Kouhpeyma, M., 2013, History of faulting on the Doruneh fault system: Implications for the kinematic changes of the

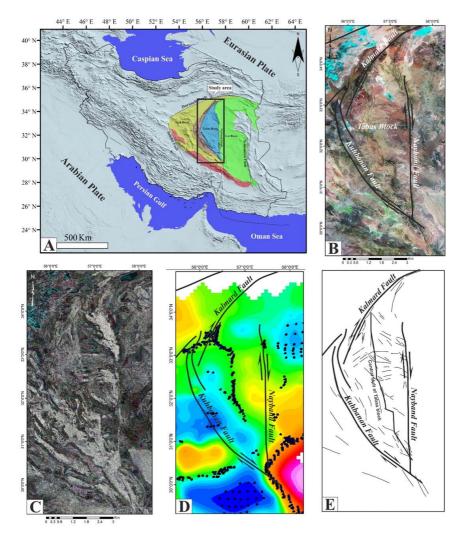


Fig. 1 A: Main sedimentary-structural zones of Central Iranian Microcontinent (CIM) (modified from Aghanabati, 2004).

Central Iranian microplate: Geological Magazine, v. 150, no. 4, p. 651–672, doi: 10.1017/S0016756812000751.

4. Tirrul, R., Bell, I.R., Griffi s, R.J., and Camp, V.E., 1983, The Sistan suture zone of eastern Iran: Geological Society of America Bulletin, v. 94, p. 134–150, doi: 10.1130/0016-7606(1983)94<134: TSSZOE>2.0.CO; 2.

# ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНИЗМА ЭГЕЙСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

# В. Н. Александров

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 <a href="https://dv.dv.dv.nidav357@yandex.ru">dv-midav357@yandex.ru</a>

Эгейская островная дуга — одна из островных дуг Средиземноморско — Индонезийского вулканического пояса. Считалось, что Эгейский регион (Критская дуга), формируется в результате субдукционных процессов. Благодаря исследованиям Шаркова Е. В. [1], Шевченко Г. И. [2], Хаина В. Е. [3] и др. стало известно, что Эгейская дуга, как и Эгейский регион в целом имеют очень сложное геологическое строение.

Особенностью геодинамической эволюции Эгейского региона является сочетание зон сжатия с зонами субгоризонтального растяжения. По данным [2], зона субгоризонтального растяжения располагается до глубин 50-60 км, а далее ее сменяет зона субгоризонтального сжатия. Благодаря современным геодезическим измерениям [2] установлено, что ширина рассматриваемого отрезка Средиземноморского пояса увеличивается с севера на юг. Это расширение вызвано различной скоростью движения блоков земной коры. Территория юго-запада Турции и юго-востока Греции с прилегающими островами смещается в юго-юго-западном направлении, удаляясь от Евразиатской плиты со скоростью 30 мм/год, а юго-восточная часть Эгейского моря смещается в ту же сторону со скоростью 40 мм/год. Следовательно, растяжение происходит за счет ускоренного движения одних блоков и замедленного движения других. Проявление таких геодинамических процессов началось с олигоцена — миоцена [3]. Их причиной является наличие под Эгейским регионом мантийного диапира. Шарков Е.В. [1] высказывает идею возникновения не просто локального диапира, а огромного астеносферного поднятия (размером 2000×5000 км) под всем Средиземноморским складчатым поясом.

Автором данной работы были исследованы острова-вулканы восточной части Эгейской островной дуги: Санторин, Нисирос и Кос.

Санторин, располагается в центре Эгейской дуги. Первые извержения произошло 2 млн. лет назад. Остров-вулкан Нисирос находится в восточной оконечности Эгейской дуги. Он образовался 160 тысяч лет назад в связи с подводным излиянием базальтов [4]. Остров Кос находиться севернее вулкана Нисирос на 17 км. Вулканическими породами сложена юго-западная часть острова. В геологической истории острова Кос было зафиксировано только одно мощное извержение 160 тысяч лет назад. [4]

Целью данной работы было изучение геологического строения трех островов-вулканов в пределах Эгейской дуги и установление петрофациальных особенностей вулканических образований, слагающих эти территории.

На архипелаге Санторин найдены породы основного и кислого составов (базальты и риолиты). Вулканические породы, слагающие вулкан Нисирос, имеют весьма разнообразный петрографический состав и представлены: риолитовыми пемзами, витрориолитами; андезитами и андезибазальтами; базальтовыми потоками и туфолавами. Наблюдалась резкая фациальная изменчивость вулканитов в разрезе отдельных обнажениях (пачки витрориолитов перемежались с покровами базальтов). В юго-западной вулканической части острова Кос преобладают породы кислого состава вулканического и субвулканического происхождения — риолиты и гранит — порфиры, также встречен дацитовый порфир в виде вулканической бомбы в пачке риолитов. Состав вулканитов достаточно однороден.

Вероятно, наличие на некоторых островах вулканических пород разного состава (базальты — риолиты) объясняется поступлением магмы как из зоны плавления Африканской плиты, так и из зон мантийного диапира.

#### Литература:

#### Печатные отечественные издания:

1. Шарков Е. В., Свалова В.Б. «Позднекайнозойская геодинамика Альпийского Складчатого пояса в связи с формированием внутриконтинентальных морей (петролого-геомеханические аспекты)» Известия высших учебных

- заведений, геология и разведка, Геология, 2005, № 1, 3–11с.
- 2. Шевченко Г. И., Лукк А. А., Прилепин М. Г. «Геодинамика района Эгейского моря и его горного обрамления в Средиземноморском подвижном поясе» Физика Земля, 2000, № 10, 29–47с.
- 3. Хаин В.Е. «Региональная геотектоника. Альпийский Средиземноморский пояс» 1984 Москва «Недра», 111–140с.

### Печатные зарубежные издания:

4. G.E. Vougioukalakis. Blue volcanoes: NISYROS. Copyright 1998;

Автор выражает благодарность своему научному руководителю Морозовой Алене Борисовне.

# ЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ СЕВЕРА ЯМАЛА И ГЫДАНА

### А. В. Новикова, А. В. Баранская

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, НИЛ геоэкологии Севера, 119991, Москва, Ленинские горы, 1 alisa.baranskaya@yandex.ru

Север Западной Сибири — один из ключевых районов для понимания стратиграфии новейших отложений Российской Арктики. Четвертичная история полуостровов Ямал и Гыдан детально изучается с середины прошлого века [3, 4, 5]; тем не менее, ряд вопросов до сих пор вызывает споры: высота и продолжительность морских трансгрессий [2], наличие и количество оледенений [1, 6], возрастные границы между основными толщами. Генезис одних и тех же отложений часто вызывает разногласия. Для дополнения этой сложной и противоречивой картины необходимо значительное количество полевого фактического материала: данных о фациальных и стратиграфических особенностей четвертичных пород севера Западной Сибири.

В 2012–2018 гг. нами был изучен ряд обнажений северной части Гыданского полуострова и острова Белого (рис. 1). В морских и речных береговых обрывах был описан разрез четвертичных отложений; зафиксированы основные вскрывающиеся горизонты, прослежены границы между ними, описаны текстурные особенности, отобраны образцы для дальнейшей лабораторной обработки. Для выявления возраста отложений проведено радиоуглеродное и уран-ториевое датирование торфа, древесины и костей мамонта, для выявления их генезиса- гранулометрический анализ, диатомовый анализ, анализ содержания водорастворимых солей в водной вытяжке.

Разрез обоих берегов острова Белого (точки 1, 2, рис. 1) состоит из трех толщ: в нижней части залегают морские засоленные глины, суглинки и пески с обильным растительным детритом (возрастом от 35970±1840 (ЛУ-7858) до 29020±450 (ЛУ-8463) радиуоглеродных лет), накопившиеся во время МИС 3 при высоком положении уровня моря.

Они перекрыты морскими голоценовыми песками с аллохтонным торфом возрастом 8000±110 (ЛУ-8462) до 9440±110 (ЛУ-8239) р.л. Венчает разрез автохтонный торф возрастом от 4,5 тыс. радиоуглеродных лет до современного, оторфованные суглинки и эоловые пески. Таким образом, в разрезе острова Белого присуствуют следы двух недавних трансгрессий: МИС 3 и голоцена.

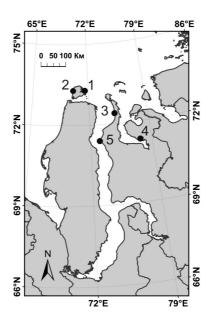


Рис. 1. Расположение описанных обнажений: I — западный берег о. Белого; 2 — восточный берег о. Белого; 3 — западное побережье п-ова Явай; 4 — полуостров Мамонта, восточный берег бухты Яйне-Вонга; 5 — мыс Хонарасаля (пойма реки Нгарка-Хортияха),

На полуострове Явай (точка 3, рис. 1) в основании разрезов вскрываются морские суглинки и пески, сменяющиеся вверх по разрезу прослоями торфа возрастом от 24500±220 (ЛУ-7972) до 30710±420 (ЛУ-7971) лет. Выше лежат голоценовые озерные супеси с торфом и древесиной возрастом около 8 тысяч лет: здесь уровень моря не был выше современного позднее МИС 3.

В южной части полуострова Мамонта и в районе мыса Хонарасаля (точки 4, 5, рис. 1) уровень моря не поднимался, по крайней мере, после МИС 5 (казанцевского времени): отложения МИС 3 представ-

лены суглинками с мамонтовой фауной, перекрытыми голоценовым аллювием и лимнием. Такое разнообразие сценариев изменения относительного уровня моря свидетельствует об общем поднятии земной коры Гыданского полуострова и юго-восточной части Карского моря, начиная с МИС 3, осложненном блоковыми дифференцированными движениями.

#### Литература:

- Астахов В.И., Назаров Д.В. Стратиграфия верхнего неоплейстоцена севера Западной Сибири и ее геохронометрическое обоснование // Региональная геология и металлогения. 2010. № 43. С. 36–47.
- 2. Данилов И. Д. Плейстоцен морских субарктических равнин. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. 200 с.
- 3. Кинд Н. В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. М.: Наука, 1974. 255 с.
- 4. Лазуков Г.И. Антропоген северной половины Западной Сибири. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. С. 32–55.
- 5. Сакс В. Н. Четвертичный период в Советской Арктике. 2-е изд. переработанное и дополненное // Тр. Ин-та геол. Арктики. Л.: Водтрансиздат, 1953. Вып. 77. 627 с.
- Forman S. L., Ingolfsson O., Gataullin V., Manley W. F., Lokrantz H. Late Quaternary stratigraphy, glacial limits, and paleoenvironments of the Marresale area, western Yamal Peninsula, Russia // Quaternary Research. 2002. V. 57. Is. 3. P. 355–370.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 18-35-00562 и 16-45-890076 р a)

# ЛАТЕРАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАЛЕОЦЕНА-ЭОЦЕНА В ЮГО-ЗАПАДНОМ И ЦЕНТРАЛЬНОМ КРЫМУ И ИХ ГЕОИСТОРИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

### К. А. Дубкова

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 <a href="mailto:ksenya-dubkova@mail.ru">ksenya-dubkova@mail.ru</a>

Фактический материал собран при описании обнажений у с. Скалистое, с. Мазанка и на г. Ак-Кая. Также использовано опубликованное описание разреза палеогена у с. Староселье [1]. Для уточнения структурно-вещественных характеристик пород выполнено описание шлифов и компьютерная микротомография образцов.

Результаты. На рис. 1 видно, что пачка глауконитовых песчаников нижней части *белокаменского горизонта* датского яруса на г. Ак-Кая имеет бо́льшую мощность (до 5 м) по сравнению с разрезами у сел Скалистое и Староселье (0,1–0,6 м), что отражает изменение расстояния до питающей провинции. Датские известняки имеют устойчивые на площади структурно-вещественные характеристики, т.е. формировались при равномерном погружении. Их мощность увеличивается к юго-западу: г. Ак-Кая — 4 м, с. Скалистое — 15 м, с. Староселье — до 50 м, что связано с изменениями глубины эрозионного вреза.

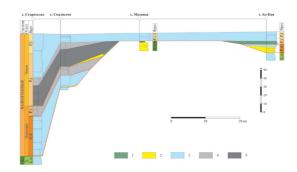


Рис. 1. Литологический профиль 1 — конгломераты, 2 — песчаники, 3 — гранулярные карбонаты, 4 — глинистые известняки и мергели, 5 — глины.

Повсеместное отсутствие отложений зеландского века свидетельствует об общем тектоническом подъеме.

Глинистые известняки *качинского горизонта* представлены в районе сел Староселье и Скалистое. В разрезах с. Мазанка и г. Ак-Кая они выклиниваются (см. рис. 1). Вероятно, в танете Симферопольское поднятие было сушей, а за его пределами происходило тектоническое прогибание. В конце танетского века региональный тектонический подъем сформировал угловое несогласия между эоценом и подстилающими породами.

Рост уровня моря в раннем ипре маркируют отложения *бахчиса-райского горизонта* — нуммулитовые глины и мергели разрезов у сел Скалистое и Староселье. Отсутствие этих отложений в районе с. Мазанка связано с тем, что Симферопольское поднятие было сушей, в прибрежной зоне которой накапливались ипрские конгломераты г. Ак-Кая.

Ипрско-лютетские известняки *симферопольского горизонта*, занимающие значительную площадь, формировались в обстановках изолированной карбонатной платформы [2]. Тектоническое погружение компенсировалось накоплением отложений, и море медленно мелело. Сокращение мощности этого стратиграфического интервала в разрезах с. Мазанка и г. Ак-Кая (12 м), по сравнению с разрезом с. Староселье (50 м), связано с замедленным тектоническим погружением района Симферопольского поднятия.

Выводы. Можно предполагать следующую последовательность событий: начало датского века — тектоническое погружение, широкое распространение мелководно-морских обстановок; поздний даний — начало роста Симферопольского поднятия; зеландский век — региональный тектонический подъем; танетский век — рост Симферопольского поднятия, сочетавшийся с тектоническим погружением за его пределами; в конце танета — региональный тектонический подъем, формирование углового несогласия в основании эоцена; начало ипра — тектоническое прогибание, с минимальной интенсивностью в районе Симферопольского поднятия; конец ипрского и начало лютетского века — региональное тектоническое прогибание, затопление Симферопольского поднятия.

#### Литература:

- 1. Барабошкин Е. Ю., Аркадьев В. В., Копаевич Л. Ф. Опорные разрезы меловой системы Горного Крыма (путеводитель полевых экскурсий Восьмого Всероссийского совещания 26 сентября 3 октября 2016 г.). Симферополь: Издательский Дом ЧерноморПресс, 2016. 90 с.
- 2. Лыгина Е. А., Копаевич Л. Ф., Никишин А. М., Шалимов И. В., Яковишина Е. В. Нижне-среднеэоценовые отложения Крымского полуострова: фациальные особенности и условия осадконакопления // Вестник МГУ. Сер. 4 Геология. 2010. № 6. С. 11–22.

Автор выражает искреннюю благодарность С.Б. Шишлову за участие в сборе материала и постоянную помощь в работе, а также Э.М. Бугровой и И.Ю. Бугровой за ценные замечания и советы.

# СВЯЗЬ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ С ПОЗДНЕКАРЕЛЬСКИМ ГРАНИТООБРАЗОВАНИЕМ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТОНОДСКОГО ПОДНЯТИЯ (СЕВЕРНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

<u>У. С. Ефремова</u><sup>1</sup>, Л. Б. Макарьев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9, ylefre 95@rambler.ru

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ), 199106, Санкт-Петербург, Средний пр. В.О., 74

Введение. Северное Забайкалье является одной из горнорудных территорий Российской Федерации с определившейся золотоносностью и высокими перспективами обнаружения промышленных месторождений урана, редких металлов и других видов минерального сырья. На севере Байкало-Патомского нагорья, в границах Тонодского поднятия, выделяется Тонодский рудный район, металлогенический потенциал которого, в частности, определяют выявленные урановые месторождения и рудопроявления, сосредоточенные преимущественно в западной части района.

Геологическое строение Тонодского поднятия. Тонодское поднятие представляет собой выступ дорифейского фундамента в составе Байкало-Патомской краевой системы на границе плиты Сибирской платформы и Саяно-Байкальской складчатой области. В геологическом строении выделяются два структурных этажа.

Нижний, карельский структурный этаж (кристаллическое основание) разделяется на раннекарельский и позднекарельский структурные ярусы. Раннекарельский ярус сложен вулканогенно-осадочными породами кевактинской серии, в составе албазинской (метапесчаниковой) и вышезалегающей махайловской (высокоуглеродистой алевросланцевой) свит. Позднекарельский ярус формируют гранитоидные массивы чуйско-нечерского комплекса, а завершают метагабброиды чуйского комплекса, образующие протяженные дайковые поля (рои) [3].

Верхний, рифейский структурный этаж (осадочный чехол), маркирующийся регионально проявленным предрифейским структурно-стратиграфическим несогласием и остаточными корами выветривания, представлен нижнерифейскими отложениями пурпольской и медвежевской свит, несогласно перекрывающимися по периферии поднятия среднерифейскими отложениями балаганахской серии. Продукты рифейского магматизма — дайки и силлы габбро-долеритов медвежевского комплекса.

Структурный план Тонодского поднятия сформирован диагональными и продольными субширотными системами разрывных нарушений с широко развитыми реннепалеозойскими покровно-надвиговыми структурами, в частности, вдоль тектонических ограничений поднятия.

В геологическом строении западной части Тонодского поднятия преобладают позднекарельские гранитоиды чуйско-нечерского комплекса, образующие крупный Кевактинский и Кагальский массивы рапакивиподобных и лейкократовых гранитов, ураноносных на анализируемой территории.

**Результаты исследований.** В настоящее время в западной части Тонодского поднятия известны урановое месторождение Туюканское, а также целый ряд рудопроявлений, в числе которых рудопроявление Натали с признаками богатых урановых руд. Проведенный анализ этих объектов указывает на общность геолого-структурных обстановок рудолокализации и рудоформирующих процессов.

- 1. Урановое оруденение развивается в гранитах и вмещающих породах, среди которых наиболее благоприятными рудовмещающими рассматриваются углеродистые сланцы михайловской свиты.
- 2. Рудоконтролирующее значение имеют зоны древних бластотектонитов, представленных бластомилонитами, бластокатаклазитами в гранитах и тектоносланцами во вмещающих породах.
- 3. Рудоформирующими являются постмагматические процессы, связанные со становлением гранитов чуйско-нечерского комплекса.

Петрографическое изучение показало, что в составе Кевактинского массива преобладают порфировидные биотитовые и биотит-амфиболо-

вые граниты с фациальными переходами в лейкократовые разновидности (в краевых и апикальных частях массива) и, реже, в гранодиориты. Лейкогранитами сложен Кагальский массив.

Полученные петрохимические и геохимические характеристики свидетельствуют о принадлежности этих образований к гранитам нормальной и преимущественно умеренной щелочности калиевого типа с выраженной торий-урановой специализацией рапакивиподобных гранитов и существенно урановой лейкогранитов при резко дифференцированном распределении (до аномальных содержаний) U, TR, Be, Sn, W и др.

На основании имеющихся и полученных новых данных можно сделать заключение о том, что гранитообразование завершилось стадиальным проявлением гидротермально-метасоматических процессов в форме фельдшпатолит-грейзеновых и березитовых изменений.

Ранние высокотемпературные фельдшпатолит-грейзеновые изменения развиваются в виде ореолов по типу внутриинтрузивных и околоинтрузивных систем, включают последовательно проявленные микроклинизацию, альбитизацию и грейзенизацию, формирующие в гранитах единую вертикальную метасоматическую колонку с верхней зоной грейзенизации. Эти процессы (в основном, грейзенизации) захватывают экзоконтакты Кевактинского массива, проявлены во вмещающих породах и характеризуются концентрированием Sn, W и Mo.

Более поздние березитовые (пропилит-березитовые) изменения проявлены более локально в приразломных обстановках по типу тектоногенных образований.

4. Урановое оруденение формируется в приразломных зонах березитизации гранитов и окружающих пород. В гранитах Кевактинского массива березиты и сопряженные с ним хлоритовые метасоматиты (пропилиты) накладываются на грейзены, а в совмещенных ореолах грейзен-березитовых изменений наблюдается телескопирование урановой и более ранней минерализации. В частности, урановые руды месторождения Туюканское в этой обстановке заметно обогащено оловом и вольфрамом. **Выводы**. Таким образом, обосновывается генетическая связь уранового оруденения западной части Тонодского поднятия с позднекарельским гранитообразованием. Проведенные авторами в 2018 г. геохронологические исследования подтверждают позднекарельский возраст гранитов Кевактинского массива (около 1846 млн. лет) и его принадлежность к ранее выделенному поясу рудоносных постколлизионных гранитов [1]. Такой же возраст (около 1845 млн. лет) установлен для урановых руд в подобных гранитах соседнего района [2].

В Кагальском массиве на западе Тонодского поднятия наиболее интенсивно проявлены грейзенизация и березитизация, а фельдшатолитизация (микроклинизация и альбитизация) практически не фиксируются, что свидетельствует о сравнительно небольшом эрозионном срезе анализируемой территории.

Это обстоятельство и установленные признаки рудообразования должны быть учтены при прогнозировании и поисках «скрытых» месторождений урана на новых перспективных территориях.

#### Литература

- 1. Ларин А. М., Сальникова Е. Б., Котов А. Б., Макарьев Л. Б., Яковлева С. З., Ковач В. П. Раннепротерозойские коллизионные и постколлизионные граниты северной части Байкальской складчатой области // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2006, т. 14, № 5, с. 3–15.
- 2. Макарьев Л. Б., Былинская Л. В., Голубев В. Н., Салтыкова Т. Е., Царук И. В. О возрасте урановых руд Северо-Байкальского региона (предварительные результаты U-Рb датирования)// Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов, 2009, вып. 153, с. 88–96.
- 3. Макарьев Л.Б., Миронов Ю.Б. Особенности металлогении и перспективы промышленной ураноносности Чуйско-Тонодской минерагенической зоны Северного Забайкалья (по материалам ГК 1000/3 и ГДП 200/2) // Региональная геология и металлогения, 2014, № 57, с. 87–94.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОНЕЙТРИННОГО ПОТОКА ДЛЯ ПРОЕКТИРУЕМОГО ДЕТЕКТОРА LENA (ФИНЛЯНДИЯ)

А. А. Караман, А. Г. Гончаров

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 Nastyakoc97@gmail.com

Геонейтрино — это электронные антинейтрино, образовавшиеся в результате инверсионного β-распада радиоактивных элементов. Геонейтрино возможно обнаружить специальными устройствами — детекторами с жидкими сцинтилляторами. На данный момент запущено два нейтринных детектора — японский KamLand и итальянский Borexino. LENA (Low Energy Neutrino Astronomy) — один из запланированных геонейтринных детекторов, который планируется разместить в шахте Пюхасалми (Руhäsalmi) в центральной Финляндии.

Геологическое строение земной коры в зоне детектора. Шахта Пюхасалми находится в зоне сложного геологического строения коры, где происходит сочленения архейских и протерозойских пород. Архейские ТТГ гнейсы, зеленокаменные пояса, супкракрустальные вукланогенно-осадочные и гранито-гнейсовые комплексы слагают Карельский кратон. Протерозойские породы представлены Центрально-Финляндским гранитоидным комплексом и поясами Саво и Ботническим, сложенными гнейсами, метаосадками и метавулканитами, близкими к океаническим островным дугам. Характерная черта геологического строения Протерозойской части — наличие в нижней коре высокоскоростного слоя. Согласно данным по ксенолитам, высокоскоростной слой может быть представлен архейскими мафическими гранулитами и эклогитами.

Строение литосферной мантии в зоне детектора. Согласно сейсмическим разрезам и данным по мантийным ксенолитам [3], литосферная мантия под зоной сочленения пород Архея и Протерозоя состоит из нескольких слоев. Некоторые исследователи относят высо-

коскоростной слой не к нижней коре, а к литосферной мантии, что для геонейтринной модели непринципиально. Средний слой литосферной мантии по многим характеристикам схож с породами Карельского кратона и сложен гранатовыми дунитами и гарцбургитами [3]. Считается, что он является остатком от плавления и что именно из него была выплавлена Архейская континентальная кора. Нижняя литосферная мантия представлена лерцолитовыми пироповыми вариациями.

Создание модели для расчета геонейтринного сигнала. Вокруг точки, определяющей местоположение шахты Пюхасалми, был «вырезан» цилиндр с высотой и радиусом 200 км. Мы ограничили количество объектов для рассмотрения, соединив сходные по значениям плотности и распространенности радиоактивных изотопов геологические объекты. Таким образом, была составлена упрощенная карта геологического строения данного участка и два перпендикулярных разреза (Рис. 1).

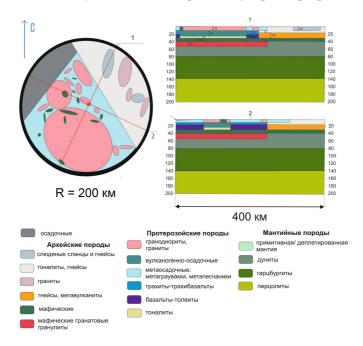


Рис. 1. Схематическая геологическая карта участка с радиусом 200 м от проектируемого детектора LENA и упрощенные разрезы. Модель «Слоистая литосферная мантия».

Существенное допущение для разработки модели — все изотопы распространены по объему равномерно, а плотность постоянна для конкретной фигуры. Для мантии мы используем модель «земная кора — слоистая литосферная мантия» и модель «земная кора — однородная литосферная мантия».

**Расчет геонейтринного потока.** Вычисление геонейтринного сигнала производилось с помощью программ MS Excel и MS Visual Studio. Определялось количество антинейтрино в секунду с каждой объемной фигуры, затем использовался метод Монте-Карло для определения потока геонейтрино через детектор.

Для сравнения полученных результатов с данными коллег [1, 4, 5] использовалась TNU-единица земных нейтрино, определяющая количество детектируемых взаимодействий антинейтрино с протонами, в количестве  $10^{32}$ , за один год [2].

Таблица I Результаты. Значения потоков от U, Th и суммы изотопов в  ${\bf c}^{\text{-1}}{\bf c}{\bf m}^{\text{-2}}$  и TNU.

Резервуар	Ф(Th) с <sup>-1</sup> см <sup>-2</sup>	Ф(U)(с-1см-2)	TNU(Th)	TNU(U)	TNUsum
Кора	948646,0306	1220152,508	3,79458	4,88061	8,67519
Слоистая литосферная мантия	78861,8	141719,28	0,31545	0,56688	0,88232
Обобщенная слоистая мантия	123754,42	223288,71	0,49502	0,89315	1,38817

Заключение. В ходе проведения моделирования мы выясняли, что земная кора — основной источник геонейтринного сигнала. Поток зависит непосредственно от расстояния до детектора, поэтому локальную кору нужно моделировать наиболее детально: именно она вносит существенный вклад в итоговый результат. При правильной интерпретации земной коры, мы можем выделять исконно мантийный сигнал, а затем решать обратную задачу. Метод геонейтрино чувствителен к вариациям моделей мантии: усредняя концентрации и плотности, мы получаем больший сигнал от литосферной мантии, чем при разделении ее на отдельные слои. Правильно интерпретировав вклад литосферы

в геонейтринный поток, мы сможем оценить теплогенерацию мантии и решить парадокс «недостающего источника тепла».

- Huang Y., Chubakov V., Mantovani F. A reference Earth model for the heat producing elements and associated geoneutrino flux// Geochemistry Geophysics Geosystems, 2013. V. 14, n.6, pp. 2003–2009
- 2. Mantovani, F., Carmignani, L., Fiorentini, G. & Lissia, M. Antineutrinos from Earth: A reference model and its uncertainties// *Phys.Rev*, 2004,. *D69*, pp. 1–7
- 3. Peltonen P., Brügmann G. Origin of layered continental mantle (Karelian craton, Finland): Geochemical and Re–Os isotope constraints// Lithos, 2006, V.89, pp. 405–423
- 4. Šrámek O., Roskovec B., Wipperfurth S.A., Revealing the Earth's mantle from the tallest mountains using the Jinping Neutrino Experiment// Scientific Reports 6, Article number: 33034, 2016, pp. 1–5
- 5. Wan L., Hussain G., Wang Z., Chen S. Geoneutrinos at Jinping: Flux prediction and oscillation analysis// Phys. Rev., 2017, D95

# УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БОБРИКОВСКОГО ГОРИЗОНТА ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БУЗУЛУКСКОЙ ВПАДИНЫ.

#### Е.В. Климова

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 <a href="mailto:evgeniiaklimova@gmail.com">evgeniiaklimova@gmail.com</a>

Терригенные отложения нижнего карбона образуют один из основных региональных нефтегазоносных комплексов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции — терригенный (визейский) нижнекаменноугольный нефтегазоносный комплекс, включающий отложения (снизу вверх) косьвинского, радаевского, бобриковского горизонтов (нижневизейский подърус), перекрытые отложениями тульского и алексинского горизонтов (верхневизейский подърус) [1].

Бобриковский горизонт наиболее полно охарактеризован керновым материалом и является перспективным объектом для прироста запасов нефти и газа Волго-Уральской НГП. Мощность бобриковских отложений на изучаемой территории варьируется от 6 м до 60 м.

В настоящее время существует два альтернативных взгляда на условия накопления бобриковских отложений. Одни постулируют их аллювиальный генезис [2], другие предполагают, что они формировались в обстановках морского мелководья [1]. В связи с этим, представляется актуально создать обоснованную новым фактическим материалом модель эволюции обстановок осадконакопления в пределах юго-западной части Бузулукской впадины.

Для этого выполнен литолого-генетический анализ [3] 100 м керна и кривых ПС, ГК, НГК, БК, АК и др. 6 скважин, пробуренных на территории юго-запада Бузулукской впадины. По многократно повторяющимся признакам пород, выделено 10 литолого-генетических типов слоев и для каждого из них была проведена реконструкция обстановки его осадконакопления. На этом основании сделан вывод о том, что в пределах рассматриваемой территории отложения бобриковского

горизонта накапливались в обстановках глубоководного шельфа, мелководного шельфа, барового поля и лагун. При этом установлено, что разрез бобриковского горизонта сформировался в течение 6 трансгрессивно-регрессивных циклов осадконакопления, каждый из которых может быть идентифицирован во всех рассматриваемых разрезах.

На палеогеографических схемах (рис. 1), построенных для каждого трансгрессивного и регрессивного максимума формирования бобриковского времени видно, что береговая линия простиралась с юга, юго-востока на север, северо-запад. Область мобилизации песчаного материала, вероятно, представляла собой сушу, которая располагалась на западе — северо-западе далеко за пределами рассматриваемой территории. Отмечена общая регрессивная направленность эволюции ландшафтов в бобриковское время.

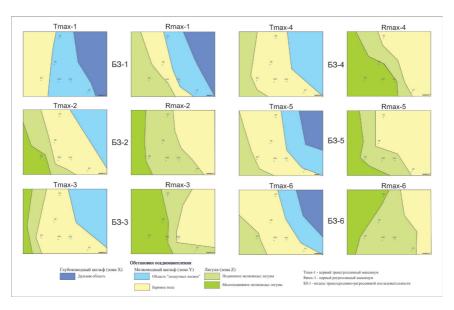


Рис. 1. Эволюция обстановок формирования бобриковского горизонта

Выполненные исследования показывают, что разрезы бобриковского горизонта юго-запада Бузулукской впадины формировались в прибрежных и морских обстановках осадконакопления.

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю С.Б. Шишлову.

- 1. Астаркин С. В., Гончаренко О. П., Пименов М. В. Обстановки осадконакопления в бобриковское время в пределах юго-востока Русской плиты. Известия Саратовского университета. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2013. Т. 13, вып. 1.
- 2. Гроссгейм В. А., Окнова Н. С., Рожков Г. Ф. Палеогеграфия Среднего и Нижнего Поволжья в бобриковское время. Ленинград, Тр. ВНИГРИ, вып.372, 1975, с. 5–27.
- 3. Шишлов С.Б. Структурно-генетический анализ осадочных формаций. СПб.: Изд-во СПГГИ, 2010. 276 с.

# ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕЛОВЫХ ВУЛКАНИТОВ ВОСТОЧНОЙ МОНГОЛИИ

М.В. Кузнецов<sup>1</sup>, В.М. Саватенков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

<sup>2</sup>Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2 garneteclogite@gmail.com

Меловые внутриплитные вулканиты Восточной Монголии являются частью вулкано-плутонического позднемезозойского пояса северо-восто-ка Азии, к которому также относятся вулканиты Восточного Забайкалья и Северо-Восточного Китая. На сегодняшний день существуют многочисленные гипотезы образования вулканических пород на территории Китая и Забайкалья [1, 2, 3], однако вулканиты Восточной Монголии остаются слабо изученными. В связи с этим актуальность данного исследования заключается в отсутствии теории образования вулканитов Восточной Монголии, связанных с позднемезозойской магматической активизацией на северо-востоке Азии. Важным аспектом является и то, что с вулканитами здесь ассоциируют сингенетические одновозрастные редкометальные Li-F граниты [4]. Соответственно, выявление причин восточно-монгольского вулканизма поможет установить и причины образования редкометалльных гранитоидов.

На основании вышеизложенного, целью исследования стало определение условий и потенциальных источников образования меловых вулканических пород Восточной Монголии. Для достижения поставленной цели было отобрано более 50 образцов вулканитов, которые в дальнейшем послужили материалом для изучения макро- и микрокомпонентного состава пород, оценки температуры и водонасыщенности материнских расплавов, а также определения изотопного состава Sr и Nd в породах. Исследование образцов проводилось при помощи петрографического анализа шлифов, рентгеноспектрального силикатного анализа, многоэлементной масс-спектрометрии с индуктивно-связанной

плазмой, микрозондового анализа минералов, изотопного анализа на твердофазном масс-спектрометре. Результаты вышеперечисленных исследований позволили выполнить моделирование плавления потенциальных источников вулканитов в программе pMELTS [5].

На основании полевого и лабораторного изучения пород удалось установить, что внутриплитные вулканиты Восточной Монголии относятся к базальт-трахитовой и базальтовой ассоциациям, приурочены к рифтовым бассейнам, грабенам, преимущественно север-восточного простирания. Все вулканиты относятся к высококалиевой известково-щелочной и щелочной сериям. Отличительными особенностями вулканитов также являются их высокое содержание  ${\rm TiO_2}$ , а также низкие концентрации Mg O.

На основании индикаторных отношений редких элементов, а также изотопного состава Nd вулканических пород Восточной Монголии был сделан вывод о том, что в их формировании могла принимать участие эклогитизированная кора Палеоазиатского океана. Данный вывод хорошо согласуется с результатами компьютерного моделирования плавления источника, который по своим химическим характеристикам идентичен среднему составу эклогита северо-восточной Азии [6]. Модельные расплавы рМЕLTS, полученные в ходе плавления эклогитового источника, имели сходный с вулканитами Восточной Монголии петрогенный состав. Ориентировочные параметры для численного моделирования в программе рМЕLTS были заданы на основании химического анализа оливинов и плагиоклазов вулканитов. Так, например, удалось установить, что нижняя температура существования материнского расплава для изучаемых пород составляла 960°, а количество воды в нем достигало от 5.63 до 5.87 мас.%.

Таким образом, изотопно-геохимические характеристики вулканитов Восточной Монголии позволили сформировать новую гипотезу образования магматических пород в пределах северо-восточного азиатского региона, главным отличием которой является то, что в качестве источника магматизма рассматриваются эклогитовые породы нижней континентальной коры без участия мантийного компонента.

- Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Иванов В.Г. Внутриплитная позднемезозойская — кайнозойская вулканическая провинция Центральной Восточной Азии — проекция горячего поля мантии // Геотектоника, 1995.
   № 5. С. 41–67.
- 2. Meng, Q. R. (2003). What drove late Mezosoic extension of the northern China Mongolia tract? Tectonophysics 369, 155–174.
- Wang, F., Zhou, X. H., Zhang, L. C., Ying, J. F., Zhang, Y. T., Wu, F. Y., Zhu, R. X. (2006). Late Mesozoic volcanism in the Great Xing'an Range (NE China): Timing and implications for the dynamic setting of NE Asia. Earth and Planetary Science Letters, 251, 179–198.
- Карта геологических формаций Монгольской Народной Республики. Масштаб: 1:1500000. Гл. ред. А. Л. Яншин. М.: Академия наук СССР, 1989.
- Ghiorso, M. S., Hirschmann, M. M., Reiners, P. W., Kress V.C. (2002). The pMELTS: A revision of MELTS for improved calculation of phase relations and major element partitioning related to partial melting of the mantle to 3 GPa, Geochem. Geophys. Geosyst. 3, 10.1029/2001GC000217.
- 6. Xu, W. L., Gao, S., Yang D-B., Pei, F-P., Wang Q-H. (2009). Geochemistry of eclogite xenoliths in Mesozoic adaktic rocks from Xuzhou-Suzhou area in central China and their tectonic implications. Lithos 107, 269–280.

# КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИИ УЗУНАХМАТСКОЙ ЗОНЫ ХРЕБТА ТАЛАССКИЙ АЛАТАУ

# А.В. Кушнарева

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 <a href="mailto:nastaskush@gmail.ru">nastaskush@gmail.ru</a>

Хребет Таласский Алатау находится на территории Киргизии и относится к Таласо-Каратауской структурно-фациальной зоне западных каледонид Северного Тянь-Шаня. [1; 4].

Исследуемая территория имеет покровно-надвиговое строение и подразделяется на два блока: Узунахматский и Карагаинский. [2, 3, 4]. Породы южного (Узунахматского) блока надвинуты с юга-востока на Карагаинский блок по Центрально-Таласскому надвигу (ЦТН). Отложения Узунахмаского блока представлены флишоидными разностями, которые испытали динамометаморфизм, достигший зеленосланцевой фации.

Для изучения деформации данного региона на количественном уровне был выбран стрейн-анализ. Реализация данного метода позволяет получить параметры эллипсоида деформации, которые, как известно, наиболее наглядно отражают деформированное состояние на микро и мезомасштабном уровне.

Ориентированные образцы, для проведения данного исследования, отбирались из однородных толщ на профиле протяжённостью 1,5 км. В структурном плане наибольшая часть образцов приурочена к крупномасштабной синклинальной складке с субвертикальной осевой плоскостью, падающей в южном направлении. Структура располагается к юго-западу от ЦТН.

В ходе изучения пород на микроуровне были встречены индикаторы направлений перемещений, которые фиксировали левосдвиговую

кинематику. Исследуемые породы представлены грубозернистыми и разнозернистыми кварцевыми метапесчаниками узунахматской свиты с лепидобластовой и бластопсаммитовой структурами. В составе большинства образцов присутствуют зерна микрокварцитов, а также линзочки перетертого глинистого и алевритового материала.

В качестве характеристик деформации на уровне образцов в пределах изученного участка методом Фрая были получены ориентировки осей стрейн-эллипсоидов, их форма и величины полной девиаторной деформации.

Значения полной девиаторной деформации варьируются от 0.36 до 0.50 с резким увеличением до 0.67 в замках складок высоких порядков. Оси удлинения (X) эллипсоидов ориентированы параллельно шарнирам складок и простиранию ЦТН (Центрально-Таласский надвиг). Погружается ось X преимущественно под небольшими углами — до 30°. Величины Rxz варьируют от 1,61 до 2,4. Происходит увеличение данного показателя при приближении к ЦТН, однако в 2 км к юго-западу от ЦТН Rxz резко возрастает до 2,4 (на общем фоне 1,5–1,7). Значения Rxy не превышают 2,14.

Подсчет отношения Лоде и коэффициента Флинна показал, что большинство эллипсоидов обладают сплюснутой формой (1>K>0, 0<v<1). Исключением являются два эллипсоида деформации, соответствующие обр. «М-4» и «М-7». Первый эллипсоид вытянутый, но приближен к форме эллипсоида плоской деформации, а второй имеет сигарообразную форму и отвечает практически одноосному обжатию. Установленные оси стрейн-эллипсоида сравнивались с полевыми наблюдениями, а именно с линейностью пересечения плоскости кливажа и слоистости. В результате оказалось, что субгоризонтальная линейность пересечения с азимутом падения 285–105° параллельна оси X удлинения эллипсоида деформации.

Полученные данные показывают, что на исследуемом участке Узунахматской зоны форма эллипсоида деформации преимущественно представлена эллипсоидом трехосного сплющивания. Интенсивность деформации незначительно варьируется, однако заметные увеличения отмечаются в местах предполагаемых замках складок вторых и более высоких порядков. Параллельность главной оси удлинения эллипсоида деформации линейности пересечения и основным региональным структурам позволяет отнести их образование к одному структурному парагенезу, а значит и к единому этапу деформации.

### Литература:

- 1. Буртман В.С. Тянь-Шань и Высокая Азия: Тектоника и геодинамика в палеозое. Труды Геологического Института. 2006. № 570. С. 19–26.
- Малюжинец А. Г., Советов Ю. К. Карбонатный (чаткарагайский) флиш верхнего рифея Таласского хребта. Осадочные формации и обстановки их образования. Труды Института геологии и геофизики им. 60-летия Союза ССР. 1987. № 692. С. 149–159.
- 3. Худолей А. К., Семилеткин С. А. Морфология и эволюция складчатых и разрывных структур Таласского Алатау (Северный Тянь-Шань). Геотектоника. 1992. № 1. С. 84–93.
- 4. Voytenko N. V., Khudoley A. K. Structural evolution of metamorphic rocks in the Talas Alatau, Tien Shan, Central Asia: Implication for early stages of the Talas-Ferghana Fault. C. R. Geoscience. 2012. № 344. P. 138–148.

Исследование выполнялось при поддержке гранта РФФИ 18–35– 00464

# ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА КАРСТОВ КРЫМСКИХ ПЕЩЕР

<u>Г. С. Максимов</u>, Е. И. Тимохина, И. А. Наухацкий, Е. М. Максимова

<sup>1</sup>Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, 295007, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4 <a href="mailto:neondreamer00@gmail.com">neondreamer00@gmail.com</a>

Актуальность изучения химического и минерального состава карстовых пород крымских пещер обусловлена как чрезвычайно широким развитием карста, так и большим количеством пещер на Крымском полуострове [1]. Высокий уровень точности и локальности такого рода исследований обеспечивается широкими возможностями современного научного оборудования.

В работе методами рентгеноструктурного и рентгенофлуоресцентного анализа изучен вещественный состав образцов водных хемогенных отложений крымской пещеры Эмине-Баир-Хосар.

Пещера Эмине-Баир-Хосар находится на горном массиве Чатыр-Даг, являющимся составной частью Главной гряды Горного Крыма и занимающим в ней срединное положение, рис. 1.



Рис. 1. Физическая карта массива Чатыр-Даг и местоположение пещеры Эмине-Баир-Хосар, [2].

Карстующиеся породы на Чатыр-Даге представлены верхнеюрскими известняками кимеридж-лузитанского и титонского возраста (160–145 млн. лет), занимающими верхний структурный этаж (до глубин 250–1250 м) геологического разреза массива, [3]. Пещера Эмине-Баир-Хосар имеет протяженность 1630 м, глубину 125 м, объем 160,5 тыс. м³ и представляет собой разноуровенную систему ходов, разделенных между собой обвальными и натечными отложениями на залы, [4].

В Эмине-Баир-Хосаре встречаются различные генетические типы пещерных отложений: остаточные, обвальные, органогенные и др., [5].

Изучение водных механических отложений представляет значительный минералогический, палеогеографический и гидрогеологический интерес, однако в пещере Эмине-Баир-Хосар комплексно такие исследования не проводились. Можнолишьотметить, что в пещере широко развиты глинистые отложения. Наибольшей мощности (3м) они достигают в зале Красных Маков и в Мертвом зале.

Детальное изучение водно-хемогенных отложений весьма важно в теоретическом отношении. Плотность, размеры и форма натеков позволяют установить интенсивность водопритока. Положение разных морфологических групп водных хемогенных отложений по отношению к разным элементам микрорельефа пещеры и другим типам отложений фиксирует уровни подтопления (оторочки, гуры), смену этапов осадконакопления (коры, сталагмиты, коралиты). Строение натеков несет информацию о палеогидрогеологической и палеотемпературной обстановке. Цвет и минералогический состав являются индикаторами палеогеографических условий. Появление автохтонных минералов фиксирует разломные зоны или особые геохимические условия образования отложений.

В работе были исследованы два образца водных хемогенных отложений пещеры Эмине-Баир-Хосар: сталактита из зала Дублянского и коры из зала Идолов. Элементный состав образцов изучался с помощью прибора Rigaku ZXC Primus, минеральный состав с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3, соответственно. Для интерпретации результатов использовалась минеральная база данных [6]. Установлено,

что сталактит состоит из кальцита  $CaCO_3$  и пижонита (Ca, Fe, Al, Mg)  $Si_2O_6$ , кора — из пижонита (Ca, Fe, Al, Mg) $Si_2O_6$ , геденбергита (Ca, Fe)  $Si_2O_6$  и тридимита  $SiO_2$ .

Полученные данные могут быть полезны при составлении кадастра пещер Крыма.

- 1. Тищенко А. И. Минералогическая изученность карстовых полостей Крыма // Спелеология и карстология, № 1. 2008.— С. 81–84. \
- 2. Амеличев Г. Н. История изучения карстового массива Чатырдаг (Горный Крым)// Спелеология и кСарстология, № 5. 2010.— С. 10–21.
- 3. Чуринов М.В. Трещинно-карстовые воды Чатыр-Дага и перспектива их использования // Тр. ВСЕГИНГЕО, сб. 17.— М.: Госгеолтехиздат, 1959. С. 22–30.
- Лукьяненко Е. А. Пещера Эмине-Баир-Хосар новый экскурсионный объект в туристской инфраструктуре Крыма // Уч. записки ТНУ, т. 14, № 1. 2001. — С. 88–92.
- 5. Максимович Г. А. Основы карстоведения. Пермь, 1963. Т. 1. 444 с.
- 6. Кристаллографическая и кристаллохимическая База данных для минералов и их структурных аналогов [Электронный ресурс] // ИЭМ РАН.— 1997.— № 2089.— URL: http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus.

# НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПОЛЯХ НАПРЯЖЕНИЯ КОКДЖОТСКОГО БЛОКА МАЛОГО КАРАТАУ

## А. Н. Москаленко

Всероссийский Научно-Исследовательский Геологический Институт имени А. П. Карпинского, 199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74 <a href="mailto:artemmn@gmail.com">artemmn@gmail.com</a>

Хребет Малый Каратау представляет северо-западные отроги Тянь-Шаня в южном Казахстане (рис. 1). Основную роль в структуре раннепалеозойского комплекса Малого Каратау играют крупные надвиговые пластины, сложенные терригенными отложениями докембрия и карбонатами кембрия и ордовика. Пластины надвинуты друг на друга в юго-западном направлении с амплитудами до 15–20 км. [1]. Параавтохтоном по отношению к серии пластин являются флишоидные отложения кокджотской серии и большекаройской свиты неопротерозойского возраста [3]. В последние годы проводятся структурные исследования на Кокджотском блоке с целью изучения параметров напряженно-деформированного состояния [2]. В настоящей работе приведены новые результаты реконструкции полей напряжения.

Детальные структурные исследования были проведены на трех участках в пределах Кокджотского блока, положение которых показано на рис. 1. Первый участок в юго-восточной части плато Кокджот сложен практический неизмененными терригенными отложениями. Второй участок, находящийся в центральной части блока, южнее Большекаройской долины отвечает породам зеленосланцевой фации метаморфизма, и третий участок на северо-западе плато Кокджот сложен породами зеленосланцевой и филлитовой фаций. Реконструкция полей напряжения проводилась на основании анализа ориентировки шарниров складок [5] и кинк-зон [6] во флишоидных отложениях кокджотской серии.

По результатам анализа полученных данных было выделено два поля напряжения (рис. 1), которые отвечают каледонским (карадокский век среднего ордовика) и, предположительно, герцинским деформациям

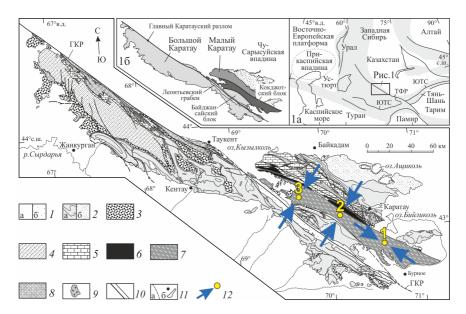


Рис. 1. Геологическая карта хребта Каратау [4] с изменениями. На врезках: Ia — положение хр. Каратау в структуре Урало-Монгольского пояса; Iб — схема районирования Каратау; I — отложения мела, кайнозоя (а) и юры (б); 2 — отложения от фамена до башкирского яруса (а) и от среднего карбона до верхней перми (б); 3 — красноцветные толщи среднего, верхнего девона; 4 — песчаники среднего, верхнего ордовика; 5 — карбонаты, сланцы кембрия — среднего ордовика; 6—8 — терригенные толщи докембрия: 6 — большекаройская свита, 7 — кокджотская серия, 8 — другие; 9 — граниты; 10 — разломы крупные и второстепенные; 11 — русла рек (а), населенные пункты (б); 12 — расположение участков работ и ориентировка оси сжатия;  $\Gamma$ KP —  $\Gamma$ лавный Каратауский разлом,  $\Gamma$ ФР — Таласо-Ферганский разлом,  $\Gamma$ ФТС —  $\Gamma$ 0жно-Тянь-Шаньская сутура.

[1, 4]. Фиксируемое раннее тектоническое событие характеризуется горизонтальным сжатием восток-северо-восточного направления (второй и третий объект исследования), когда более позднее представлено сдвиговым полем напряжения при субширотной ориентировке оси сжатия (первый объект исследования).

- 1. Алексеев Д.В. Тектоника Малого Каратау (Южный Казахстан). Автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 1993–24 с.
- 2. Рекашова М.В., Москаленко А.Н. Реконструкция поля палеонапряжений

- в зоне Главного Каратаусского разлома. Материалы V Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, посвященной памяти академика А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, 2017—с. 112–115
- 3. Худолей А. К., Алексеев Д. В., Дюфрейн С. Э., Дегтярев К. Е., Летникова Е. Ф. Новые данные о возрастах обломочных цирконов из кокджотской серии и большекаройской свиты Малого Каратау (Южный Казахстан). Т. 479, № 2. Доклады Академии Наук, 2018 с. 179–182
- 4. Alexeiev D. V., Cook H. E., Buvtyshkin V. M., Golub L. Ya. Structural Evolution of the Ural Tian Shan Junction: a View from Karatau Ridge, South Kazakhstan. V. 341.— C. R. Geoscience, 2009 p. 287–297
- Cowan D., Brandon M. A symmetry-based method for kinematic analysis of large-slip brittle fault zones. V. 294.— American Journal of Science, 1994—p. 257–306
- 6. Marshak S., Mitra G. Basic Methods of Structural Geology. Pearson, 1988–446 p.

Исследование выполнялось при поддержке гранта РФФИ 18–35–00464.

# ИЗОТОПНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕВОНСКИХ УГЛЕЙ СЕВЕРНОГО ТИМАНА

М. А. Павлова, С. М. Снигиревский, Ю. С. Шелухина, К. И. Лохов

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9. milana.a.pavlova@yandex.ru

Девонский период — время первого достаточно массового накопления органического вещества в осадочных горных породах континентального генезиса. Несмотря на то, что первые наземные растения появились, по-видимому, в середине силура [4], формирование углей развивалось постепенно в течение девона, при этом они имели сравнительно малое распространение и непромышленные объемы. Первые этапы процесса угленакопления представляют особый исследовательский интерес.

В 2016—17 гг. С. М. Снигиревским, А. П. Сивковой (оба — СПбГУ) и П. А. Безносовым (ИГ КНЦ УрО РАН) были отобраны образцы углей и вмещающих их пород из верхнедевонских отложений, обнажающихся по берегам рек Волонги и Сулы на Северном Тимане. В некоторых образцах достаточно хорошо сохранились фрагменты травянистых плауновидных *Jurinodendron kiltorkense* [2], микро- и мегаспоры древних растений, а также остатки водных позвоночных и копролиты [3].

Для исследования материнского вещества углей были применены методы геохимии стабильных изотопов углерода и азота, результаты которых представлены в таблице.

Все живые организмы при жизни в ходе взаимодействия с окружающей средой «забирают» из нее более легкие изотопы углерода, тем самым повышая их долю в себе и понижая в среде, то есть фракционируют. В органическом веществе осадочных горных пород, генетически связанном с живыми организмами, сохраняется это отношение, на основе чего можно сделать предположения о палеообстановках и обитателях древних биоценозов. В таблице представлены величины  $\delta^{13}$ С, отвечающие аномально тяжелому углероду для наземных расте-

ний. Такой изотопно тяжелый состав углерода более характерен для водных растений. Полученные значения  $\delta^{15}N$  оказались повышенными, что может свидетельствовать об усвоении растениями азота в форме нитрата из водного бассейна.

Таблица Изотопный состав углерода и азота в углях и вмещающих породах

№	Краткая характеристика	Возраст	δ <sup>13</sup> C (VPDB),‰	δ15N (AIR),‰
88–11	Уголь слоистый	D <sub>3</sub> km	-22.7	+4.5
88–15	Корень углефицированный, из палеопочвенного горизонта	D <sub>3</sub> pk	-22.5	+5.8
88– 15a	Палеопочва	D <sub>3</sub> pk	-22.7	+1.5
89–14	Уголь массивный	D <sub>3</sub> gr	-22.5	+2.3
89–15	Уголь слоистый	D <sub>3</sub> gr	-23.3	+2.0
89–16	Уголь массивный	D <sub>3</sub> gr	-23.7	+1.9
89–17	Уголь тонкослоистый	D <sub>3</sub> gr	-24.5	+2.4

Таким образом, полученные данные могут свидетельствовать об обстановках мелководных бассейнов, подобных старицам, дельтовым озерам [1], неглубоким лагунам, где произрастали гидрофильные, полуводные, травянистые растения (такие, как плауновидные рода *Jurinodendron*), а также водоросли. Эти растения являлись, очевидно, материнским веществом верхнедевонских углей в районе нынешнего Северного Тимана.

- 1. Безносов П. А., Снигиревский С. М., Наугольных С. В., Лукшевич Э. В. Верхнедевонский комплекс отложений дельтовой равнины на Северном Тимане.— Вестник ИГ КомиНЦ УрО РАН.— 2018, № 1.— с. 25–44.
- 2. Снигиревский С. М., Кочева Л. С., Безносов П. А., Павлова М. А. Северный

- Тиман как один из древнейших угленосных районов Земли.— Природное геологическое наследие Европейского севера России: Матер. Всерос. научн. конфер. (Сыктывкар, 17–18 октября 2017 г.).— 2017.— Сыктывкар: Геопринт.— с. 77–80.
- 3. Снигиревский С. М., Безносов П. А., Сивкова А. П. при участии М. А. Павловой. Гибель девонской Помпеи. Многогранная геология, вып. IV. 2018 (в печати).
- 4. Tomescu A. M. F., Pratt L. M., Rothwell G. W., Strother P. K., Nadon G. C. Carbon isotopes support the presence of extensive land floras pre-dating the origin of vascular plants. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2009, Vol. 283, Issues 1–2. p. 46–59.

# ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ НЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ ДОЛЕРИТОВ ЮЖНОГО ВЕРХОЯНЬЯ

# А. Д. Савельев

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9 <u>aleksandr.d.savelev@gmail.com</u>

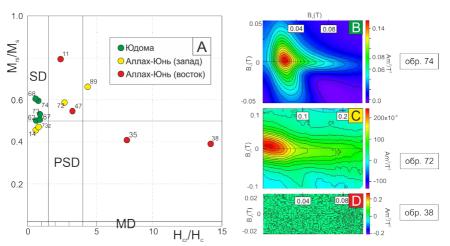
Определение базовых характеристик древнего геомагнитного поля Земли позволяет решить широкий круг задач, в том числе связанных с моделированием физических процессов, происходящих в глубинных оболочках Земли. Подобные работы особенно актуальны для неопротерозойских пород, поскольку по одной из гипотез образование твёрдого внутреннего ядра могло произойти именно в это время. Для подтверждения или опровержения этой гипотезы необходимы массовые замеры напряженности  $\mathbf{H}_{\mathbf{дp}}$  геомагнитного поля, которые требуют предварительного изучения на предмет состава и доменного состояния присутствующих в породе зерен магнитных минералов.

Объектами исследования стали долеритовые силлы улаханбамского гипабиссального комплекса ( $\beta R_{3u}$ ), расположенные в средних течениях рек Юдома и Аллах-Юнь и имеющих возраст 900-1000 млн. лет. Выполненный палеомагнитный анализ показывает, что естественная остаточная намагниченность этих силлов содержит древнюю компоненту, образовавшуюся, вероятно, во время их внедрения. Эта компонента намагниченности может быть использована для определения напряженности геомагнитного поля времени образования пород при соблюдении ряда условий, важнейшим из которых является однодоменный или псевдооднодоменный состав носителей древней намагниченности.

Для определения доменного состава носителей намагниченности в этих породах для представительной серии образцов были отсняты диаграммы обратных кривых первого порядка (FORC) на вибрационном магнитометре (VSM) PMC MicroMag 3900 в палеомагнитной лаборатории Института физики Земли РАН (Москва). Обработка и

анализ данных проведены при помощи пакета программного обеспечения FORCinel [2]. Отношения основных параметров ( $M_{_{\rm S}}$  – намагниченность насыщения,  $M_{_{\rm rs}}$  – остаточная намагниченность насыщения,  $H_{_{\rm c}}$  – коэрцитивная сила;  $H_{_{\rm cr}}$  – поле, разрушающее остаточную намагниченность насыщения) отображены на диаграмме Day-Plot [1].

Согласно диаграммам Day-Plot (рис. 1, a) и FORC (рис. 1, b,d) магнитные минералы в породах юдомского и западного аллах-юньского силлов находятся в однодоменном (SD) состоянии. Диаграммы FORC по этим же образцам имеют симметричную форму с замкнутыми контурами, что характерно для SD (распределение вдоль оси  $B_c$ ) и PSD (псевдодоменного, контур расходится и вдоль оси  $B_u$ ) состояний [3]. Остальные образцы с Аллах-Юня не попадают в релевантные поля диаграммы Day-Plot, также как и не дают результата на FORC- диаграмме.

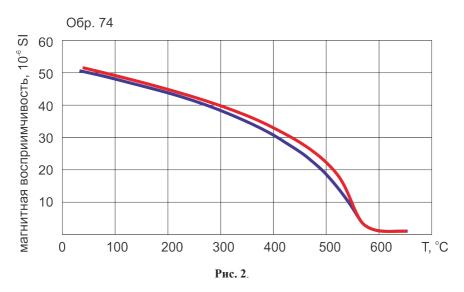


**Рис. 1** FORC и Day-Plot диаграммы изученных образцов (по [1,2]).

Температурные кривые магнитной восприимчивости были измерены на термомагнитометре Ю. К. Виноградова палеомагнитной лаборатории Института физики Земли РАН (Москва) при температурах до 650 °C. Во всех изученных образцах точка Кюри близка к 580 °C. Кривые охлаждения находятся близко к кривым нагрева, величина магнитной восприимчивости по сравнению с исходным значением

остаётся той же. Следовательно, в результате нагрева необратимые изменения в породах не происходят (рис. 2). Последнее крайне важно при проведении нагревных экспериментов при определении напряженности древнего магнитного поля, в частности, при использовании для этой цели классического метода Телье.

Таким образом, полученные данные указывают на то, что основным магнитным минералом в изученных образцах является однодоменный или псевдооднодоменный магнетит, и что долериты юдомских силлов являются перспективным объектом для определения напряженности древнего геомагнитного поля раннего неопротерозоя.



Температурная зависимость начальной магнитной восприимчивости в интервале от 20 до 650 °C. Кривая нагрева показана красной линией, охлаждения — синей.

- Day R., Fuller M., Schidt V.A. Hysteresis properties of titanomagnetites: Grain size and compositional dependence. Phys. Earth Planet. Inter. 1977. № 13. 260–267.
- 2. Harrison, R. J., & Feinberg, J. M. FORCinel: An improved algorithm for calculating first-order reversal curve distributions using locally weighted

- regression smoothing. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 9(5), [Q05016]. 2008, DOI: 10.1029/2008GC001987
- 3. Roberts A.P., Heslop D., Zhao X., Pike C.R. Understanding fine magnetic particle systems through use of first-order reversal curve diagrams. Reviews of Geophysics. 2014. V. 52. 557–602

# МАМОНТЫ ПЛЕЙСТОЦЕНА СЕВЕРА СИБИРИ

В. А. Чеботарева, Г. Н. Киселев

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 <a href="mailto:st063672@student.spbu.ru">st063672@student.spbu.ru</a>

Мамонт является представителем отряда Хоботные (**Proboscidea**), группы Настоящие слоны, рода *Mammuthus* [8].

Родиной первых слонов — предков мамонтов — считается Восточная Африка — там были найдены останки наиболее древнего и примитивного слона. За период появления слонов принимают конец миоцена (около 5 млн. лет назад). В середине плиоцена (примерно 2,5 млн. лет назад) была отмечена миграция слонов в более северные широты — в Евразию, а затем и в Центральную и Северную Америку. (Рис. 1) В начале плейстоцена, около 2,0 млн. лет назад отмечается появление первых наиболее древних мамонтов, который уже был упомянут выше, в Евразии и Северной Америке — это *М. trogontherii*. Ближе к концу плейстоцена (100 тыс лет назад) наблюдалось сокращение ареала слонов, которые с голоцена и до наших дней обитают лишь в Африке и на юге Азии, и смена первоначального вида мамонтов шерстистыми, которые позже расширили свою территорию существования до Америки. [7]



Рис. 1. Ареал распространения мамонта в Северной Америке (слева) и в Евразии (справа)

Образ жизни мамонта был довольно активным, о чем свидетельствует постоянное расширение их территории существования, обусловленное потребностью в большом количестве пищи. Кормовая масса взрослого животного доходила до 250 кг при весе животного до 7–8 тонн [3]. Мамонты чаще обитали и кочевали стадом, где вожаком обычно были старые самки. Наиболее благоприятными районами обитания для мамонтов считались долины рек. [7]

На верхней и нижней челюстях находилось по одному большому лопатообразному зубу, служащих для перетирания пищи. Всего за жизнь животного сменялось 6 зубов: 3 из них считались молочными, 3 — коренными. Каждый зуб представлял собой широкую и длинную пластину, состоящую из нескольких слоев эмали (Рис. 2). Смена зубов происходила в горизонтальном направлении: когда зуб стирался, и от него оставался слой из нескольких эмалевых пластин, его вытеснял задний новый зуб, двигающийся вперед. Когда стирался последний цикл зубов, животное теряло способность к пережевыванию пищи, а значит не могло питаться и погибало. Зубы мамонта являются более прочными, чем некоторые другие костные части скелета, поэтому лучше сохраняются, и их наиболее часто можно обнаружить в ископаемом состоянии [7].



Рис. 2. Зуб мамонта в натуральную величину, 3-я смена (Палеонтологический музей СПбГУ, фото автора)

Ископаемые находки известны с XVIII века. Наиболее значимые ископаемые находки:

1799 — Ленский мамонт (мамонт Адамса), 1900 — Березовский мамонт, 1912 — Ляховскийй мамонт. В том числе мамонтята: 1948 — аляскинский мамонтенок Эффи, 1977 — магаданский мамонтенок Дима, 1988 — ямальский мамонтенок Маша, 1991 — мылахчинский мамонтенок Гоша, 2004 — оймяконский мамонтенок Саша, 2010 — якутский мамонтенок Юка. [7],[13]

По свойствам мамонтовая кость очень близка к слоновьей. Вторая активно используется в изготовлении различных поделочных изделий и предметов быта, поэтому находки скелета мамонта позволяют в значительной мере сократить истребление и сохранить популяцию слонов. [7]

Поэтому тема находок мамонтов далеко не исчерпала себя и остается актуальной и по сей день. Ученые из различных уголков света продолжают заниматься исследованиями в данной области. В 2015 году вышла новая публикация коллектива специалистов московских и якутских «Детеныши мамонтов: свидетельства жизни ледниковой эпохи», а коллектив Санкт-Петербургского Зоологического музея ЗИН РАН производит попытки клонирования и воскрешения мамонта.

### Литература:

# Монографии:

- 1. Верещагин Н. К. Записки палеонтолога. По следам предков Режим доступа: <a href="https://profilib.net/chtenie/25976/nikolay-vereschagin-zapiski-paleontologa-po-sledam-predkov-31.php">https://profilib.net/chtenie/25976/nikolay-vereschagin-zapiski-paleontologa-po-sledam-predkov-31.php</a>
- 2. Верещагин Н. К. От ондатры до мамонта. Путь зоолога. Санкт-Петербург, изд. «Астерион» 2002–336 с.
- 3. Верещагин Н.К. «Почему вымерли мамонты?» Режим доступа: <a href="https://www.litmir.me/br/?b=257027&p=1">https://www.litmir.me/br/?b=257027&p=1</a>
- 4. Мамонт и его окружение: 200 лет изучения. Юбилейный сборник научных трудов/ Отв.ред. А. Ю. Розанов. М.: Геос, 2001–362 с.
- 5. Мегре В. Н. Новая цивилизация. Книга восьмая. Часть 2 (Серия «Звенящие кедры России») СПб.: Издательство «ДИЛЯ», 2015. 224 с.

- 6. Стародубцева И.А., Алексеев А.С. История российской палеонтологии. В. Н. Татищев (1686–1750) Бюл. Моск. о-ва испыт сателей природы. отд. геол. 2015. Т. 90, Вып. 5 (<a href="http://cretaceous.ru/files/pub/history\_of\_russian\_paleontology/starodubtseva\_alekseev\_2015\_tatischev.pdf">http://cretaceous.ru/files/pub/history\_of\_russian\_paleontology/starodubtseva\_alekseev\_2015\_tatischev.pdf</a>)
- 7. Тихонов А. Н. Мамонт (Серия «Разнообразие животных». Вып.3). Москва Санкт-Петербург: Т-во научных изданий КМК. 2005–90 с.
- 8. Черепанов Г.О., Иванов А.О. Палеозоология позвоночных: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений.—М.: Изд. Центр «Академия», 2007–352 с.

#### Электронные ресурсы:

- Артемьев А.—Режим доступа: <a href="http://ruspravda.info/Mamonti-zhivut-i-se-godnya-2041.html">http://ruspravda.info/Mamonti-zhivut-i-se-godnya-2041.html</a>
- 2. Ведмеденко И.— Режим доступа: <a href="https://naked-science.ru/article/sci/prichina-vymiraniya-mamontov-o">https://naked-science.ru/article/sci/prichina-vymiraniya-mamontov-o</a>
- 3. Люхин *А.М.* Режим доступа: <a href="http://lyukhin.ru/wp-content/uploads/2014/04/Про-мамонтов.pdf">http://lyukhin.ru/wp-content/uploads/2014/04/Про-мамонтов.pdf</a>
- 4. Островский А.Н.— Режим доступа: <a href="http://www.vokrugsveta.ru/vs/article/7474/">http://www.vokrugsveta.ru/vs/article/7474/</a>
- 5. Открытые источники, статья «О чем рассказали последние находки мамонта» Режим доступа: <a href="https://planetguide.ru/krugosvetka/entry/1157">https://planetguide.ru/krugosvetka/entry/1157</a>

Выражаю искреннюю благодарность тем, кто в процессе работы оказывал помощь и содействие: Киселеву Г. Н. за постоянную помощь в работе и предоставление необходимых материалов, Тихонову А. Н. за содержательные консультации и ознакомление с мамонтовой коллекцией Зоологического музея ЗИН РАН.

# Геология нефти и газа

# ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ НОВОЙ МЕТОДИКИ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ НЕФТИ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ И ПОДХОДЫ ПО ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

#### А. А. М. А. Аль-Кебси

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 <u>alkebsi@mail.ru</u>

Перед геологами и нефтяниками стоит задача освоить баженовскую свиту. В настоящей работе приводится анализ накопленного опыта работы с отложениями баженовской толщи с разработкой необходимых решений и дополнений к временному руководству по подсчету запасов баженовской свиты, поскольку на данный момент традиционные запасы во всем мире плавно истощаются и возникает необходимость в разработке и оптимизации новых методов оценки и прогнозирования нетрадиционных и трудноизвлекаемых запасов.

Баженовская свита является основным источником трудноизвлекаемых и нетрадиционных углеводородов в России. Согласно различным оценкам, баженовская свита предоставляет большой интерес нефтяным компаниям, так как в них сосредоточено около 150—500 млрд. т. геологических ресурсов нефти, и предварительно, можно оценить извлекаемые ресурсы нефти в районе 10—60 млрд. т., принимая КИН 0,15 [2].

Принципы подсчета запасов нефти залежей баженовской свиты в свете нового методического руководства заключаются в выделении границ категорий запасов A,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $C_1$  и  $C_2$ , выделение происходит строго по указанной методике. На рис. 1 представлены различные ситуации выделения площади нефтеносности в зависимости от типа пробуренных скважин (вертикальные, субвертикальные, горизонтальные) [1].

С целью реализации новой методики и выявления ее недостатков был произведен подсчет начальных геологических запасов нефти пласта  $\mathbf{H}_0$  с выделением категории запасов  $\mathbf{H}_1$  по классификации запасов, действующей до 01.01.2016 г. [1], и по временному руководству по подсчету запасов коллекторов сланцевого типа.

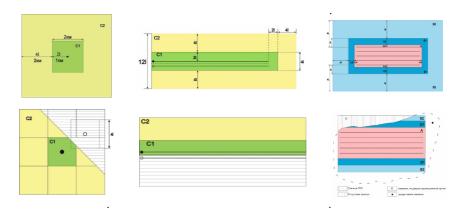


Рис. 1. Схемы выделения границ всех категорий запасов нефти БС, их списание и границы ППЗ [1]

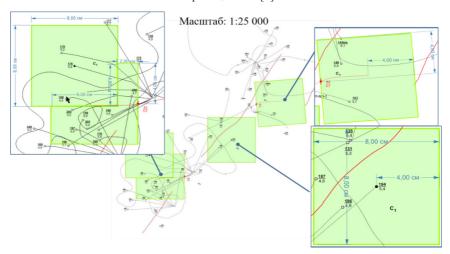


Рис. 2. Выделения границ площади нефтеносности пласта  $\mathbf{HO}_0$ 

С помощью геометрических вычислений был определен площадь нефтеносности следующем образом:

$$F = (8 \cdot 8) + (8 \cdot 8) + (8 \cdot 8) + (8 \cdot 8) = 256 - (6 \cdot 4) = 232 \cdot 250^2 = 14500 \text{ TMC. M}^2$$
 (1)

Подставляя все полученные значения параметров в формулу объемного метода подсчета запасов нефти баженовской свиты, мы получаем [1]:

$$Q_n = F \cdot h_n \cdot K_n \cdot K_n \cdot \Theta \cdot \rho = 14000 \cdot 5, 3 \cdot 0, 08 \cdot 0, 85 \cdot 0, 887 \cdot 0, 873 = 4046, 6 \text{ тыс. м}^2$$
 (2)

Следует отметить, что Полученное значение начальных геологических запасов нефти по данному объекту  $\mathbf{H}_0$  на 1 млн. т. ниже приведенного в проектном документе.

Для совершенствования данной методики необходимо учитывать ряд факторов, одним из которых является учет влияния трещиноватости на величину начальных геологических запасов нефти баженовской свиты. В планах намечено подробно изучить данный вопрос и выявить оптимальную методику учета трещиноватости с дальнейшим предложением по ее объединению с имеющейся методикой.

Дальнейшую работу по совершенствованию методики подсчета запасов баженовской свиты планируется продолжить совместно со специалистами ФБУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» и «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В. И. Шпильмана».

- Временное методическое руководство по подсчету запасов в трещинных и трещинно-поровых коллекторах в отложениях баженовской толщи Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // межотраслевой научно-технический журнал № 4 «Недропользование XXI века». август 2017.— С. 68–102.
- Шпильман А. В. Геологическое строение и нефтегазоносность баженовской свиты Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Актуальные изучения и освоения залежей сланцевой нефти/ А. В. Шпильман, М. П. Савранская// Вестник кибернетики. 2016. № 2.— С. 17–21.

# ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ НА ВОСТОЧНО-ЧИЖАПСКОМ МЕЗОПОДНЯТИИ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

### К. А. Гаврилова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Томск, проспект Ленина, 30 kristinaG2@yandex.ru

В России доля трудноизвлекаемых запасов нефти увеличивается и уже превышает 60%. Истощенность традиционных месторождений углеводородов требует изыскивать новую ресурсную базу, по масштабам сопоставимую с крупнейшими разрабатываемыми нефтегазоносными провинциями. В качестве равноценной альтернативы рассматривается освоение огромного потенциала самой большой в мире сланцевой формации — баженовской свиты, которая развита практически по всей Западной Сибири.

Баженовская свита одна из наиболее изучаемых, но при этом наименее предсказуемых объектов нефтегазовой геологии в России. Несмотря на кажущуюся изученность, баженовская свита остается непознанным объектом, как для геологов, так и для разработчиков.

Целью работы являлось изучение пород баженовской свиты, вскрытой бурением на одном из месторождений Томской области, расположенном в тектоническом плане на Восточно-Чижапском мезоподнятии, выявление особенностей их вещественного состава и битумоидов.

В результате литолого-петрографического анализа [1, 2], выполненного на основании особенностей строения и состава отложений было выделено 6 литотипов.

Литотип 1 — кремнисто-глинисто-карбонатная порода по радиоляриевому аргиллиту темно-серая с остатками белемнитов, радиолярий, трубчатых и двустворчатых раковин с пелитовой и кристаллически-зернистой структурой, слабо пиритизированная.

Литотип 2 — карбонатная алевритоглинистая мелкокристаллическая

пиритизированная порода с пелитовой и кристаллически-зернистой структурой

Литотип 3 — аргиллиты алевритовые глинисто-кремнистые карбонатизированные, глауконит-содержащие, темно-серые, плитчатые, тонко отмученные с остатками ихтиофауны, онихитов белемнитов, радиолярий, иглокожих, с пелитовой структурой, слабо пиритизированные.

Литотип 4 — кремнеаргиллиты темно-серые с коричневым оттенком, битуминозные, однородные, тонко отмученные с онихитами белемнитов и остатками радиолярий, трещиноватые с лепидобластовой структурой, пиритизированные, неравномерно карбонатизированные.

Литотип 5 — кремнеаргиллиты темно-серые с коричневым оттенком битуминозные, однородные, тонко отмученные с онихитами белемнитов и остатками радиолярий с плохо сохранившейся растительной органикой с пелитовой структурой, пиритизированные.

Литотип 6 — аргиллиты темно-серые до буровато-серых и буровато-черных кремнисто-глинистого и глинисто-кремнистого состава, тонко отмученные плитчатые с остатками онихитов белемнитов, раковин радиолярий, с сильно разложившейся растительной органикой и пелитовой структурой.

Согласно люминесцентным исследованиям, практически во всех литотипах присутствуют битумоиды (от 0,02% до 0,06%) смешанного состава: от легкого (голубоватое свечение) до смолисто-асфальтенового (темно-коричневое свечение).

В составе отложений баженовской свиты преобладающими компонентами являются кремнистые и глинистые минералы. Практически во всех изученных образцах присутствуют пирит, слюды, карбонаты, полевые шпаты.

Повсеместно встречаются макрофаунистические остатки (ростры и онихиты белемнитов), а также микрофауна, представленная радиолярий и фрагментами иглокожих.

Преобладающие битуминозные текстуры и структуры — равномерно и неравномерно-рассеянные, пятнистые, ореольные — свиде-

тельствуют о сингенетичном происхождении битумоидов. В то же время в породах широко проявлены следы миграции по межслоевым и мало протяженным секущим трещинам, что является свидетельством о перераспределении битумоидов внутри нефтематеринской толщи.

- 1. *Недоливко Н.М., Ежова А.В.* Петрографические исследования терригенных и карбонатных пород-коллекторов. Томск: Изд-во ТПУ, 2012. 172 с.
- 2. *Логвиненко Н.В., Сергеева Э.И.* Методы определения осадочных пород: Учебное пособие для вузов. Л.: Недра, 1986. 240 с.

# ВЕРИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ РАЗЛОМОВ И МАЛОАМПЛИТУДНЫХ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОЛЯ ПАЛЕОНАПРЯЖЕНИЯ

#### Р. А. Зиганицина

ООО «Газпромнефть-НТЦ», 190000, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 75–79, литер Д ziganshinarada@gmail.com

Месторождения нефти и газа, вводимые в эксплуатацию в настоящее время, отличаются всё более сложным геологическим строением, а, значит, требует комплексных подходов для организации эффективной разработки, включающих в том числе изучение напряженного состояния района. Значимость исследования применительно к отложениям баженовской свиты обусловлена специфическими акустическими и геологическими свойствами отложений; контрастность низкоимпедансного баженовского горизонта ограничивают возможность выделения некрупноамплитудных разломов по сейсмическим данным. Кроме того, эффективность разработки данного объекта прежде всего зависит от приобщения естественной трещиноватости, спрогнозировать которую возжможно используя предложенный метод. Таким образом, для верификации разломов, смещений по которым на сейсмопрофилях отметить не удаётся, а также для выделения систем малоамплитудных разрывных нарушений было восстановлено поле палеонапряжения для баженовских отложений одного из месторождений Западной Сибири.

Прежде всего был определен генезис «уверенных» разрывных нарушений (со смещением): были выделены сдвиги по смещению синформ и антиформ на структурной карте отражающего горизонта. Далее была проведена инверсия напряжения (первая итерация), то есть восстановление палеостресса путем решения обратной задачи по имеющейся геометрии сети разрывных нарушений и их генесизу  $(puc.\ 1a)$  (инверсия предполагает расчет множества реализаций всех возможных вариантов направлений осей главных нормальных напряжений и их соотношения). Затем по рассчитанным вероятностям об-

разования «уверенных» разрывных нарушений в реконструированном поле в соответствии с геометрией и их типом производилась калибровка поля на данные разломы (рис. 16). Результатом инверсии стал оптимальный вариант ориентации оси максимального горизонтального сжатия и тектонический режим (рис. 1в). Следующим шагом настраивались типы прочих разрывных нарушений, смещений по которым по сейсмическим данным не отмечено, в восстановленном поле. Так как о типе данных разрывов судить невозможно, просчитывались все возможные варианты и затем определялся тип, как наиболее вероятный в настроенном поле палеонапряжения.

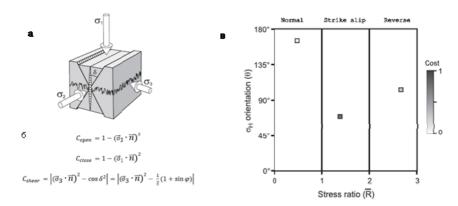


Рис. 1а. Типы разрывных наружений в соответствии с главными осями напряжений. (о) — открытые (joint, veins), (с) — закрытые (stylolites, compaction band), (s) — сдвиги; б — расчет вероятности образования разрыва с данной геометрией и генезисом в заданном поле напряжения; в-тектонический драйвер (отражает вероятность (cost) всех итераций инверсии в зависимости от σ<sub>и</sub> и режима) [1]

На втором этапе с помощью кубов сейсмических атрибутов, подчеркивающих локальные линейные неоднородности волновой картины (Chaos, Ant tracking), была выделена система малоамплитудных разрывных нарушений, размер которых менее разрешающей способности сейсмических данных (порядка 10–20 м). Так как массив сейсмической информации помимо полезного сигнала содержит шумы и прочие помехи, которые невозможно полностью устранить на этапе обработки, то выделяемые с помощью сейсмических атрибутов плоскости считались лишь предполагаемыми разрывными нарушениями. Для верификации

их наличия в массиве пород и возможности сформироваться в восстановленном поле аналогично крупным дизъюнктивам проводился еще один цикл инверсии. Также систему разрывов была дополнена при анализе карт палеоперемещений в формате RGB, проводя еще одну петлю инверсии и анализа атрибутов.

По результатам проведенной работы было оценено напряженное состояние баженовской свиты одного из месторождений Западно-Сибирской платформы (сжатие северо-северо-западного простирания, сдвиговый режим); в восстановленном поле палеонапряжения определены типы разрывных нарушений, смещений по которым по сейсмическим данным не наблюдается; выделена и верифицирована сеть малоамплитудных тектонических нарушений, проанализирован возможный тип разрывов (в том числе перспективных с точки зрения проницаемости).

#### Литература

- Maerten L., Maerten F., Lejri M., Gillespie P. Geomechanical paleostress inversion using fracture data / Journal of Structural Geology (89), 2016. 197–213 p.
- 2. Zoback M. Reservoir Geomechanics / Cambridge, 2007

## ИСТОРИЯ ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОРОДАХ БАЖЕНОВСКОГО ГОРИЗОНТА НИЖНЕЕНИСЕЙСКОГО ОЧАГА НЕФТЕГАЗООБРАЗОВАНИЯ

Н. Д. Исламидинов, П. И. Сафронов

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2 nursulton.2125@mail.ru

В настоящем исследовании приведены результаты компьютерного моделирования процессов генерации газообразных и жидких УВ органическим веществом (ОВ) баженовского горизонта Нижнеенисейского очага нефтегазообразования. Район исследования располагается на территории Долгано-Ненецкого района Красноярского края. В тектоническом плане находиться в западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба (ЕХРП). Данная территория является крупным газодобывающим районом на северо-востоке Западной Сибири. Около половины всех перспективных площадей округа приходится на Енисей-Хатангскую нефтегазоносную область (НГО). На территории НГО пробурено 210 скважин: 186 из них разведочные и поисковые, 24 параметрические. Наиболее изучены бурением западные районы ЕХРП.

В качестве фактического материала были использованы данные, полученные в ИНГГ СО РАН. Для моделирования был использован программно-методический комплекс Temis Flow (Beicip Franlab). С помощью данной программы были построены структурно-литологическая модель, модель уплотнения осадков, модель термической истории осадков, модель катагенеза ОВ баженовского горизонта и соответственно масштабы и скорости генерации УВ. На основе этих данных была выполнена количе-

ственная оценка сгенерированных УВ керогеном II и III типов.

Уровень зрелости ОВ баженовского горизонта в настоящее время достигает  $\mathrm{MK}_2$  в осевых частях Енисей-Хатангского регионального прогиба. Градация  $\mathrm{MK_1}^2$  охватывает значительную часть Центрально-Таймырского наклонного желоба и Мессояхской наклонной гряды. Наименее преобразовано ОВ в прибортовых частях территории изучения.

Генерация УВ начачалась в альбское время, и по настоящему времени прослеживается увеличение массы сгенерировавших жидких и газообразных углеводородов и распространение очагов генерации в юго-западном направлении. В случае использования для моделирования ІІ типа керогена объемы генерации значительно увеличивается, при использовании керогена ІІІ типа объем генерации уменьшается. Максимальная скорость генерации газообразных углеводородов в гольчихинской свите имела место 5–4 млн. лет тому назад и была равна 700 млрд. м³/км² млн. лет. Максимальная скорость генерации жидких углеводородов в баженовском горизонте была 72–70 млн. лет тому назад и была равна 5 000 тыс. тонн/км² млн. лет.

#### Литература

- 1. Конторович А.Э. и др. Историко-геологическое моделирование процессов нафтидогенеза в мезозойско-кайнозойском осадочном бассейне Карского моря // Геология и геофизика, 2013.
- Ким Н.С., Родченко А.П. Органическая геохимия и нефтегазогенерационный потенциал юрских и меловых отложений Енисей-Хатангского регионального прогиба. Геология и геофизика, 2013.
- Моделирование процессов генерации, миграции и аккумуляции углеводородов в юрских и меловых комплексахЕнисей-Хатангского бассейна / П. И. Сафронов, С. В. Ершов, Н. С. Ким, А. Н. Фомин // Геология нефти и газа, 2011. — № 5. — С. 48–55.
- Tissot B., Welte D. H. Petroleum formation and occurrence // Berlin, Springer, 1984.

## КВАЗИКОЛЛЕКТОРА КАК ОДНА ИЗ ВЕРОЯТНЫХ ПРИЧИН ОБВОДНЕНИЯ ПРОДУКЦИИ СКВАЖИН В ЗОНАХ ПРЕДЕЛЬНОГО НАСЫЩЕНИЯ ПРИОБСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А. В. Караваев, А. В. Максименко, В. М. Теплоухов

ООО «Газпромнефть-НТЦ», 190000, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 75–79, литер Д <u>Karavaev.AV@gazpromneft-ntc.ru</u>

На современном этапе развития нефтегазовой отрасли необходимо реально оценивать и рационально вырабатывать имеющуюся ресурсную базу. Успешность вовлечения ранее неразрабатываемых запасов напрямую зависит от прогнозирования их ФЕС. Одним из важных параметров для оценки экономической эффективности проекта является прогноз стартовой обводненности продукции скважин. На южной лицензионной территории (ЮЛТ) Приобского месторождения, которая разрабатывается компанией Газпром нефть, на данный момент начинается этап вовлечения запасов находящихся в переходной водо-нефтяной зоне месторождения. Однако, существующая методика прогноза параметра показывает плохую сходимость с реальными показателями разработки и для участков в зоне предельного насыщения, что приводит к неправильному прогнозированию эффективности и, как следствие, необходимости пересмотра методики. Для решения данной задачи необходимо учитывать весь комплекс факторов, влияющих на прогнозную обводненность. К ним можно отнести:

- данные PVT исследований;
- данные лабораторных исследований керна;
- петрофизические зависимости;
- данные фактической работы скважин (влияние жидкости ГРП);
- влияние неэффективных толщин (квазиколлекторов).

В рамках данной работы рассматривается вопрос учета влияния квазиколлекторов при прогнозе обводненности продукции скважин

для зон предельного насыщения ЮЛТ Приобского месторождения. В дальнейшем данный фактор может быть использован не только для прогноза обводненности, но и для уточнения петрофизической модели насыщения переходной зоны рассматриваемого месторождения.

В основе предложенной авторами методики расчета обводненности в предельно насыщенных зонах терригенного разреза лежит учет притока водной фракции из интервалов, которые по своим фильтрационным характеристикам не являются коллекторами для нефти, но могут при разработке фильтровать воду. Такие интервалы предлагается называть квазиколлекторами (коллекторами для подвижной воды). Присутствие таких квазиколлекторов в продуктивном разрезе объясняет наличие воды в скважинах, которые не должны быть обводнены при расчете методом двухфракционного потока.

В качестве объекта изучения были выбраны скважины из зоны предельного насыщения, приуроченной к фации мелководья, с работающими пластами AC12.1, AC12.3–5, схожими по геологическому строению и PVT свойствам. В предельно насыщенной зоне фазовая проницаемость по воде для порового пространства коллекторов должна быть равна нулю. Это выполняется при условии Кв < Кв\* (критическая водонасыщенность для однофазной фильтрации нефти). На основе специальных керновых исследований построена зависимость Кв\* от абсолютной газопроницаемости Кпр(газ), которая использовалась для определения значения Кв\* в конкретных интервалах продуктивных коллекторов. В результате была сформирована выборка скважин, в которых для всех продуктивных интервалов выполнялось условие Кв < Кв\*.

Сопоставление фактической обводненности скважин (устоявшейся, в среднем на 3-й месяц работы скважины) с прогнозной величиной показало систематическое завышение реально измеренной характеристики. Этот факт авторы отнесли к влиянию гидроразрыва пласта, увеличивающего долю квазиколлекторов в общей фильтруемой толщине.

В результате проделанной работы разработана методика прогноза обводненности в предельно насыщенных зонах для терригенного разреза. Результаты определения обводненности в целом хорошо бьются с реальной историей работы скважин, что позволяет говорить о целе-

сообразности учета квазиколлекторов при расчете дебитов жидкости из перфорированных интервалов (в том числе с применением ГРП).

#### Литература

- 1. Вендельштейн Б. Ю. Методические рекомендации по определению подсчетных параметров залежей нефти и газа по материалам геофизических исследований скважин с привлечением результатов анализов керна, опробований и испытаний продуктивных пластов Калинин: НПО «Союзпромгеофизика», 1990.— 261 с.
- 2. Итенберг С.С. Интерпретация результатов каротажа скважин. Недра, Москва, 1987–375 с.

#### МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ТИП ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НИЖНЕ-РИФЕЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНО-АСКИНСКОЙ ПЛОЩАДИ БАШКОРТОСТАНА

#### Е.С. Корепанов

Казанский федеральный университет, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18 te3s.mega@gmail.com

Территория Башкортостана является частью Волго-Уральской нефтегазоносной области. В тектоническом отношении Волго-Уральская область представляет собой восточную часть Русской плиты и Предуральский краевой прогиб Восточно-Европейской платформы. На севере ее ограничивают складчатые образования Тимана, на востоке—горный Урал, на юге и западе она граничит с Прикаспийской синеклизой, Сысольским и Токмовским сводами. [2]

Результаты глубокого бурения в последние десятилетия в различных осадочных бассейнах существенно расширили стратиграфический и глубинный диапазоны нефтегазоносности осадочного чехла. Нефтепроявления и месторождения были открыты в осадочных отложениях позднего протерозоя (рифей, венд). Рифей-вендские отложения широко развиты в пределах ВЕП. Их нефтеносность установлена в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. [1]

На территории Республики Башкортостан открыто более 200 нефтяных, нефтегазовых и газовых месторождений, приуроченных к отложениям палеозойского осадочного разреза. Геологическое исследование толщи верхнего докембрия, в том числе и перспектив нефтеносности этой толщи, кроме региональных сейсморазведочных работ и работ, выполненных по Программе изучения додевонских отложений платформенного Башкортостана и обоснования перспектив их нефтеносности 2000–2005 гг., выполнено на сегодня 16 параметрическими скважинами. Если снять толщу палеозойских отложений, мощность осадочных образований верхнего протерозоя (рифея-венда) возрастает в субширотном направлении от 0 до 13—

17 км. В сопоставлении с глубинами пробуренных параметрических скважин следует очевидное заключение, что толща рифея-венда изучена по вертикали бурением менее чем наполовину. [2]

По изученным образцам была проведена литолого-минералогическая характеристика нижнерифейских отложений. Породы нижнего рифея плотные, сложенные мергелистыми доломитами, с глубиной увеличиваются участки перекристаллизации карбонатных пород. Органические остатки более характерны только для нижних интервалов. Рудные минералы встречаются небольшой сыпью в породе. Битуминозное вещество приурочено к небольшим линзочкам, прожилкам и стилолитовым швам.

Изучаемые образцы Восточно-Аскинской площади практически непроницаемые и малоемкие. При помощи метода СЭМ было обнаружено наличие мелких изолированных пор, пустот коррозии и выщелачивания, а также участков перекристаллизации органических остатков, в процессе которых формируется вторичная пористость.

С целью выяснения типа органического вещества и его распределения по глубине был использован метод электронного-парамагнитного резонанса (ЭПР). По данным ЭПР-анализа установлено, что на интервале 2944,5-2953,5 м и 3815-3825 м исследуемые породы сложены доломитом, присутствие незначительного количество глинистой компоненты. Выяснено, что кварц и доломит в составе породы эпигенетического типа. В более глубоких частях разреза породы содержат в своем составе многочисленные органические остатки. Для уточнения типа карбонатных минералов и типа органического вещества было проведено удаление кальцита путем его растворения раствором соляной кислоты. Была выяснена природа органического вещества с помощью дальнейшей температурной обработки при 350 °C и повторным ЭПР-анализом. После обработки НСІ на ЭПР-спектре проявляется структура свободного радикала органического вещества: широкая линия соответствует ранее образованному подвижному углеводороду. Узкая линия соответствует карбонизированному углероду. После пиролиза при 350 °C фиксируется появление нового углеродного радикала  $C_{350}$  (растительный тип органики).

Наличие скоплений органического вещества растительного происхождения свидетельствует о генерационном потенциале пород нижнего рифея Восточно-Аскинской площади. Однако углеводородный потенциал этих пород возможен при использовании термических методов разработки. В то же время наличие большого количества органических остатков предполагает поиск углеводородов этих отложений, которые могут быть приурочены к трещиноватым участкам пород площади. Наиболее перспективным горизонтом на содержание УВ является калтасинская свита нижнего рифея Восточно-Аскинской площади, изучению которых необходимо уделить большое внимание в процессе выявления перспективных зон и площадей.

#### Литература

- 1. Гитиятуллин Н. С. Автореферат на тему "Геолого-тектонические условия нефтегазоносности восточной части Волго-Уральской антеклизы (территория республики Татарстан)". Санкт-Петербург 2011 г.— 53 с.
- 2. Лозин Е. В. Геология и нефтеносность Башкортостана. Изд.: БашНИ-ПИнефть. 703 с.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕНОСНОСТИ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ НА СЕВЕРЕ ХАНТЕЙСКОЙ ГЕМИАНТЕКЛИЗЫ

Р. М. Саитов, С. В. Юдин

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2 SaitovRashid72@gmail.com

Россия является одним из признанных мировых лидеров по добыче нефти и газа. Однако, снижение темпов прироста запасов и добычи углеводородного сырья в последние десятилетия за счет открытия новых залежей нефти и газа в гранулярных коллекторах требует изыскания новой ресурсной базы, по масштабам сопоставимой с крупнейшими разрабатываемыми нефтегазоносными провинциями. Согласно парадигме А. Э. Конторовича, приоритетными направлениями развития ресурсной базы России являются освоение арктического шельфа и баженовской свиты [1]. В то время как разработка арктического шельфа связана с созданием инфраструктуры в суровых, непригодных для постоянного проживания человека регионах, баженовская свита получила свое распространение на территории с развитой нефтедобывающей инфраструктурой. Она является основной нефтематеринской толщей Западно-Сибирского осадочного бассейна. При этом в его центральной части баженовская свита является самостоятельным перспективным объектом для поисков и добычи нефти, ресурсы которого по разным оценкам достигают 500 миллиардов тонн [2]. Таким образом, научная задача, заключающаяся в изучении геологического строения баженовской свиты и выделении наиболее перспективных зон для обнаружения в ней нефти, представляется сегодня актуальным исследованием.

Территория исследования расположена в центральной части Широтного Приобья. В тектоническом отношении большую часть района исследования занимает Хантейская гемиантеклиза, на северо-востоке выделяется южная часть Ямало-Карской региональной депрессии. С точки зрения нефтегазогеологического районирования изучаемый

регион находится в пределах Среднеобской и Надым-Пурской нефтегазоносных областей.

В 2014–2016 годах в ИНГГ СО РАН проводилось комплексное изучение баженовской свиты. В рамках этих работ был изучен керн некоторых скважин, расположенных в пределах территории исследования. В процессе аналитических исследований керна были установлены точные границы баженовской и георгиевской свит, полученные значения были сопоставлены с каротажными диаграммами, а данные скважины выбраны в качестве эталонных. В качестве фактического материала были использованы каротажные диаграммы по 325 глубоким скважинам. Для расчленения и корреляции разрезов баженовской свиты был использован комплекс радиоактивного и электрического методов ГИС. По данным каротажа баженовская свита представляет собой высокорадиоактивную, высокоомную, плотную и низкопроницаемую толщу пород. Значения кажущегося сопротивления в интервале баженовской свиты не выдержаны по площади, кривые сильно дифференцированы. Максимальные значения естественной радиоактивности в среднем изменяются от 60 до 100 мкР/ч, запись двухмасштабная. Кривые ПС и кавернометрии в пределах свиты сохраняют спокойный характер. Толщины классических разрезов баженовской свиты изменяются от 5 до 37 м, в среднем составляя 21 м.

В соответствии с моделью Ф. Г. Гурари, основным фактором образования нефтяных залежей в баженовской свите считается процесс нефтегенерации, сопровождающийся автофлюидоразрывом, в результате которого и образуется коллектор. Отсюда следует, что при больших количествах исходной органики и высоких значениях катагенеза будут проходить процессы нефтегенерации, а мощные выше- и нижележащие флюидоупоры будут препятствовать эмиграции углеводородов и исчезновению залежей. Таким образом, в рамках этой работы были рассмотрены следующие критерии нефтеносности баженовской свиты: толщины баженовской свиты с содержанием органического углерода больше 7%; значения отражательной способности витринита; изолированность баженовской свиты выше- и нижележащим флюидоупорами.

Комплексный анализ выбранных критериев позволил построить карту перспектив нефтеносности классических разрезов баженовской свиты и выделить территории трех категорий перспективности. Высокоперспективные территории были выделены по совпадению благоприятных значений всех выбранных критериев. Так, Сорымско-Русскинская, Вать-Ёганская, Северо-Островная и Западно-Асомкинская зоны приурочены к территориям с высокими содержаниями органического углерода и зрелым органическим веществом, а также областям больших толщин георгиевской свиты. На данных площадях проводились скважинные испытания в интервале классических разрезов баженовской свиты и были получены промышленные притоки нефти. Территории второй категории перспективности (возможно перспективные) также приурочены к зонам высоких содержаний органического углерода, высоких значений катагенетической зрелости органического вещества и повышенных толщин нижележащего флюидоупора, однако здесь отсутствует информация о результатах испытаний классических разрезов свиты. Остальная часть региона исследования была отнесена автором к малоперспективным территориям.

#### Литература:

- Конторович А.Э. Глобальные проблемы нефти и газа и новая парадигма развития нефтегазового комплекса России // Наука из первых рук.— 2016.— № 1.— С. 7–17.
- Баженовская свита главный источник ресурсов нетрадиционной нефти в России / А. Э. Конторович [и др.] // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. — 2014. — № 2 (10). — С. 1–8.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПАЙЯХСКОЙ ЗОНЫ НЕФТЕГАЗОНАКОПЛЕНИЯ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ 2 D СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ

#### С.С. Цветков

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2 <a href="mailto:tsvetkovsereja@gmail.com">tsvetkovsereja@gmail.com</a>

Пайяхская зона нефтегазонакопления расположена в пределах западной части Енисей-Хатангского регионального прогиб, в слабо-изученном арктическом регионе Сибири. В административном плане объект располагается в Красноярском крае, в 130 км к северо-западу от города Дудинка. В соответствии со схемой нефтегазогеологического районирования, исследуемая зона относится к Нижнеенисейскому нефтегазоносному району, Енисей-Хатангской нефтегазоносной области на территории северо-восточной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Предшествующие исследования характеризуют район как весьма перспективный на открытие новых залежей нефти и газа в юрско-меловом осадочном комплексе [1]. Филипцов Ю. А. с коллегами ранее доказал, что нефтематеринскими породами в пределах изучаемой зоны являются отложения гольчихинской свиты [4].

В ходе работы были интерпретированы сейсмические профили по Пайяхской площади и значительным сопредельным территориям. Также были использованы данные глубокого бурения. На основе комплексного анализа данных была проведена корреляция отражающих горизонтов Б, М [3], локально развитой глинистой пачки (Мл) и флюидоупора (П) на Пайяхской площади.

На основе данных геофизических исследований скважин были построены корреляционные профили и выделены песчаные пласты  $\mathrm{Hx}_1\text{-}\mathrm{Hx}_3$ . В результате комплексной интерпретации был построен ге-

ологический разрез (рис. 1), определено изменение мощности песчаных коллекторов по разрезу и построена карта эффективных толщин песчаных пластов  $Hx_1$ - $Hx_3$ .

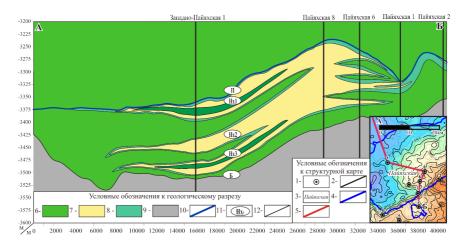


Рис. 1.

Конечным результатом работы являются детальная карта перспектив нефтегазоносности Пайяхской зоны. В пределах исследуемой зоны было выделено нефтеносная залежь, а также выделены наиболее перспективные участки для последующего геолого-геофизического изучения. Полученная сейсмогеологическая модель в значительной степени позволяет уточнить геологическое строение и нефтеносность Пайяхской зоны нефтегазонакопления. Результаты исследования могут служить основой для оценки перспектив неокомских клиноформных резервуаров, что представляется актуальным на сегодняшний день, в связи с исчерпанием фонда крупных и средних структур на территории Енисей-Хатангского регионального прогиба [2].

#### Литература:

Ершов С.В. Закономерности распределения органического вещества в келовей-нижнеберриасских отложениях западной части Енисей-Хатангского прогиба и прилегающих районах Западно-Сибирской геосиниклизы / С.В. Ершов, Н.С. Ким, А.П. Родченко // Геология и геофизика. — 2017. — Т. 58. — № 10. — С. 1578–1592.

- 2. Исаев А.В. Перспективы нефтегазоносности клинофорного комплекса Енисей-Хатангского регионального прогиба / А.В. Исаев, В.А. Кринин, С.М. Карпухин // Нефтегазовая геология. Теория и практика.— 2015.—Т.10.-№ 3.
- 3. Конторович В. А. Тектоника и нефтегазоносность западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба / А. В. Конторович // Геология и геофизика, 2011, Т. 52, № 8, с. 1027–1050.
- 4. Филипцов Ю.А., Взаимосвязь материнских пород и нефтей в мезозойских отложениях северо-востока Западной-Сибирской плиты на основе изучения углеводородов биомаркеров и катагенеза органического вещества / Ю. А. Филипцов, И. В. Давыдова, Л. Н. Болдушевская, В. П. Данилова, Е. А. Костырева, А.Н. // Фомин Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2006, № 5–6,—52–57с.

## ВЫДЕЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИКИ ФЛЮИДОВ В НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРАХ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ СКВАЖИН

А.В. Шурунов<sup>1</sup>, В.И. Чеканов<sup>2</sup>, И.С. Каешков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ООО «Газпромнефть-НТЦ», 190000, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 75–79, литер Д <sup>2</sup>Всероссийский Научно-Исследовательский Геологический Институт имени А. П. Карпинского, 199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74 Shurunov.AV@gazpromneft-ntc.ru

На скважинах Приобского месторождения пробуренных в зоне конуса выноса наблюдается эффект резкого снижения продуктивности скважин после 1—3 месяцев работы. Имеются следующие предпосылки возникновения данного эффекта:

- Высокая расчлененностью коллектора
- Образование стимулированной зоны пласта (модель SRV) при ГРП
- Отклонение потока от закона Дарси
- Деградация трещин ГРП

Определение точной причины важно для проведения уверенных расчетов системы разработки (особенно межскважинной интерференции), планирования мероприятий, создания комплексной гидродинамико-геомеханической модели, а также принятия мер для уменьшения темпа падения продуктивности.

Наиболее вероятным вариантом падения продуктивности, по мнению авторов, является эффект нелинейного течения флюида, который уже неоднократно рассматривался в отечественной и зарубежной литературе [1,4], а на Приобском месторождении установлен методом исключения.

Зимой 2017–2018 года множество скважин было остановлено в связи с ограничением добычи. На многих из них проведена регистра-

ция кривой восстановления давления (КВД) в течение всего периода остановки. Эти исследования в первую очередь опровергают гипотезу деградации трещины во времени, так как интегральный скин-фактор при запуске скважины и при остановке был приблизительно одинаковым. Дополнительно, данная гипотеза опровергается отсутствием эффекта снижения продуктивности на скважинах других месторождений с похожими коллекторскими свойствами.

Гипотеза образования зоны стимулированного объема опровергнута КВД на скважине где в процессе малообъемного ГРП было закачано всего 30т проппанта, а «зона нелинейности» диагностируется на расстоянии в 65 метров. Дополнительно с точки зрения стандартной технологии ГРП нет предпосылок для образования такой зоны.

Гипотеза сильной расчлененности коллектора была опровергнута путем моделирования реакции добывающих скважин на работу системы ППД. При достаточно высокой расчлененности в модели эффект от системы ППД наступает намного раньше нежели в реальности и в модели, учитывающей эффект нелинейности потока. Отсутствие сильной расчлененности подтверждается интерпретацией каротажа в скважинах, находящихся в 100 метрах друг от друга и проводкой горизонтальных скважин исключительно по продуктивному интервалу.

Единственной причиной остается теория нелинейной фильтрации, эффект которой можно описывать строгой моделью (фильтрация с предельным градиентом давления) [2] и нестрогой моделью (движение флюида происходит при любых перепадах давления, но с кратно меньшей скоростью при градиенте давления ниже определенного).

Моделирование эффекта нелинейности в геолого-гидродинамической модели на симуляторе Eclipse проведено с использованием функции THPRES, позволяющей ввести между ячейками предельный градиент начала фильтрации флюида [3]. Тем самым реализована строгая модель нелинейности, которая позволила довольно уверенно описать работу скважин в пределах целого участка месторождения (150 скважин), что также является косвенным подтверждением корректности данной теории.

Таким образом, определена одна из основных причин падения продуктивности скважин со временем на Приобском месторождении, что позволяет актуализировать систему разработки всего месторождения, а также снять неопределенности при сложных процессах (развитие трещин авто-ГРП, переориентация трещин после повторных ГРП).

В дальнейшем, необходимо определить границы применения нелинейной фильтрации в зависимости от условий месторождения (проницаемость, пористость, фазовые зависимости, минеральный состав и пр.)

#### Литература

- Байков В.А., Галеев Р.Р., Колонских А.В. Нелинейная фильтрация в низкопроницаемых коллекторах. Анализ и интерпретация результатов лабораторных исследований керна Приобского месторождения, Вестник «НК Роснефть» № 2, 2014. — 55 с.
- 2. Баренблатт Г.И., Ентов В. М., Рыжик В. М. Движение жидкостей и газов в природных пластах, М.: Недра, 1984.— 211 с.
- Schlumberger Eclipse Reservoir Simulation Software Version 2011.2 Reference Manual
- Wang S., Tan Z., Zhang S., Jiang H., Jiang D., Ruan H., Zhang X. Numerical Simulation Method and Laboratory Experiments of Starting Pressure Gradient in Tight Sandstone Oil Reservoirs. SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, SPE-18634, 2017–12 c.

## **Инженерная** геология и гидрогеология

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПРОЦЕССОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ БЕРЕГОВОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В ПРЕДЕЛАХ ВАСИЛЕОСТРОВСКОГО РАЙОНА)

#### Н.С. Кузьминых

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 kyzminih @mail.ru

Особенностью геолого-литологического строения четвертичного разреза территории Василеостровского острова является наличие техногенных насыпных и намывных, которые укладывались на болотные, морские или озерные отложения. На многих участках размещались бытовые отходы, а также отходы промышленного и строительного производства. На этих участках в результате сложных биохимических произошло разуплотнение и разжижение подстилающих грунтов. В пределах территории развиты все основные виды эрозии: эрозия почв, оврагообразование и процессы, связанные с деятельностью водотоков.

Целью настоящей работы является изучение геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических условий территории, состава и физико-механических свойств грунтов под различные сооружения на Васильевском острове в прибрежной части Финского залива.

Для оценки были выполнены исследования инженерно-геологических условий площадки, на основе которого даётся оценка строительных свойств грунтов. В рамках анализа инженерно-геологических условий необходимо оценить сжимаемость грунтов основания, расчётное сопротивление грунтов [1]. Цель прово-

димого анализа — установление закономерностей изменения сжимаемости и прочности грунтов по глубине, выбор несущих слоёв для фундаментов сооружений [2]. Результаты показали, что среднедеформируемые и сильнодеформируемые грунты занимают значительную часть в разрезе и по площади. В качестве несущего слоя не допускаются грунты сильнодеформируемые и очень сильнодеформируемые.

Для оценки возможности развития тиксотропии был определен коэффициент структурной связности грунтов [3]. Также производилось выявление зависимостей выраженности структурных связей от коллоидной активности. Показатель коллоидной активности характеризует относительное содержание в тонкодисперсной части глинистой породы минералов различной коллоидно-химической активностью. На всей территории верхнечетвертичные озерно-морские и озерно-ледниковые отложения характеризуются тиксотропными свойствами и требуют особого внимания. При определённых условиях, в них будут проявляться тиксотропные процессы.

При оценке условий участка был учтен анализ оценки способности проявления суффозионных процессов в песчаных грунтах [3]. Степень развития суффозии для конкретного грунта характеризуется в первую очередь коэффициентом неоднородности и градиентом фильтрации. Данное исследование показало, что на участке строительства может развиваться внутрипластовая суффозия.

На территории Василеостровского района присутствуют опасные процессы и специфические грунты, которые имеют широкое распространение или оказывают решающее влияние на проектные решения, строительство и эксплуатацию объектов. В разрезе обнаружены тиксотропные грунты, озерно-ледниковые, являются тиксотропными грунтами, которые при динамических

нагрузках разжижаются и теряют присущую им связность и несущую способность. На участке строительства может развиваться внутрипластовая суффозия. В периоды интенсивного снеготаяния и ливневых дождей возможен подъем уровня воды в реке Неве и Финском заливе с затоплением поймы. Из выше перечисленного можно сказать, что категория сложности инженерно-геологических условий участка строительства — III (сложная).

#### Литература:

- 1. Вознесенский Е. А. Динамическая неустойчивость грунтов. УРСС Эдиториал Москва, 1999. С. 453.
- 2. Кравченко П.А., Парамонов В. Н., Стеклянникова Н. И. Расчёт оснований фундаментов: учебное пособие. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. 68с.
- 3. Ломтадзе. В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Недра, 1977. 479 с.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю старшему преподавателю М. А. Лаздовской, доценту Н. Г. Корвет.

#### ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ В АРИДНЫХ ОБЛАСТЯХ (НА ПРИМЕРЕ БУШЕРСКОЙ АЭС, ИРАН)

#### П.Г. Лескова

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 <a href="leskovapg@gmail.com">leskovapg@gmail.com</a>

Проблеме подтопления площадок инженерных объектов уделяется большое внимание по всему Миру [2]. Данная проблема наиболее характерна для гумидных областей с избыточным увлажнением. В тоже время, нельзя исключать проявление этого процесса и в областях с засушливым климатом [1, 3]. Так с проблемой подтопления территории столкнулись при эксплуатации Бушерской АЭС, которая является объектом настоящего исследования.

Бушерская АЭС расположена в провинции Бушер, в Иране, в ее проектировании и строительстве принимали участие российские специалисты. В настоящее время Бушерская АЭС состоит из одной действующей станции, включающей в себя один энергоблок (Бушер-1), и строющейся второй очереди станции, которая будет состоять из двух энергоблоков (Бушер-2).

На этапе эксплуатации действующей станции — Бушер-1 обнаружено активное подтопление территории подземными водами, что оказалось крайне необычным и неожиданным для условий аридного климата, в котором расположена рассматриваемая АЭС. Заложенные дренажные мероприятия оказались малоэффективными, вследствие чего происходило обводнение подземных электрических коммуникаций станции. Стоит отметить, что воздействие подземных вод на фундаменты и подземные

коммуникации зданий и строений АЭС крайне нежелательно и может привести к серьезным авариям.

Чтобы избежать подобной негативной ситуации с подтоплением при эксплуатации второй очереди станции — Бушер-2, необходимо провести гидрогеологическое обоснования ее строительства, что являлось целью настоящего исследования. Для этого выполнены следующие задачи:

1. На основе анализа многолетних данных режимных наблюдений за уровнями подземных вод определены причины подтопления территории Бушер-1. Выявлено несколько факторов, приводящих к подтоплению территории Бушер-1, главным из которых является наличие обильных техногенных инфильтрационных потерь из водонесущих коммуникаций станции. На рис. 1 показан график изменения уровней подземных вод в скважинах, расположенных в центральной части Бушер-1 в период 2010—2014 г. Стоит отметить, что с вводом в эксплуатацию станции в 2011 г, на графике отмечаются резкие эпизодические подъемы уровней подземных вод, связаные с авариями водонесущих коммуникаций.

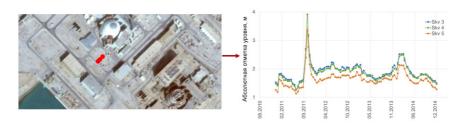


Рис. 1. График режима подземных вод в скважинах в центре площадки Бушер-1

2. С помощью численного гидрогеологического моделирования исследована возможность проявления процессов подтопления территории при строительстве и эксплуа-

- тации Бушер-2. Выполненные расчеты свидетельствуют о том, что без принятия водозащитных мероприятий эксплуатации станции крайне нежелательна.
- 3. Предложены инженерные водозащитные мероприятия, которые одновременно предотвратят подтопление территории строящейся станции Бушер-2 и не окажут дополнительного гидродинамического воздействия на действующую станцию Бушер-1. В качестве водозащитных мероприятий рекомендуется сохранить строительный дренаж, который компенсирует негативное влияние от обильных техногенных утечек. На основе численного моделирования доказано, что при работе предложенного дренажа, депрессионная воронка имеет ограниченное распространение и не влияет на устойчивость зданий и сооружений действующего энергоблока Бушер-1.

#### Литература:

- 1. Никаноров А. М., Барцев О. Б. Анализ природных опасностей и социальноэкономических последствий, создаваемых при техногенном подтоплении территории в условиях аридного климата в условиях аридного климата, и концепция их системного мониторинга (Юг России) // Изучение и освоение морских и наземных экосистем в условиях арктического и аридного климата: Материалы Международной научной. конференции..— 2011. С. 74—77.
- Groundwater problems in urban areas / ed. W. B. Wilkinson. London: Thomas Telford, 1994. — 453 p.
- 3. Saleh A. Al-Sefry, Zekai Sen. Groundwater Rise Problem and Risk Evaluation in Major Cities of Arid Lands Jedddah Case in Kingdom of Saudi Arabia // Water Res. Management.— 2006.— № 20. P. 91–10.

#### КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНА ОПОЛЗНЕВОГО БЕРЕГА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

#### А. А. Прасолов

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1 ghfcjkjdfylhtg@yandex.ru

Среди склоновых процессов широко распространены оползни, обвалы и осыпи. Расчёт устойчивости склонов и оползневого давления важен при проведении мер их защиты. Для количественной оценки устойчивости оползневых склонов используются различные инженерно-геологические расчётные методы [1]. В данной работе приведены расчёты по двум группам методов: основанным на напряжённом состоянии в пределах всего склона (метод Маслова) и другие — по определяемой системе плоских поверхностей скольжения.

Объектом изучения являлся склон правого оползневого берега Куйбышевского водохранилища в районе г. Новоульяновск в связи со строительством газопровода Старая Бинарадка-Ульяновск. В табл. 1 показаны слагающие их формации, а также их генезис, возраст и расчётные свойства.

Tаблица 1 Состав и расчётные свойства формаций берега Куйбышевского водохранилища

Индекс	Формация	γ, кН/м³	φ, °	С, кПа	М <sub>мах</sub> , м
aIV	Гравийная	13,3	31	0	21
aIII	Суглинистая	15,1	10	10	33
N <sub>2</sub>	Песчаная	18	27	0	43
K <sub>2</sub>	Мергелевая	20	21	27	87
K <sub>1</sub>	Глинистая	14,6	8	44	116

На основе полученной исходной информации проводились расчёты устойчивости склонов по вышеперечисленным методам (табл. 2), при

этом для метода Куваева расчёты проводились только для скальных грунтов (мергелей).

Tаблица 2 Результаты расчёта устойчивости склонов на правом берегу Куйбышевского водохранилища в районе г. Новоульяновска

Условия расчёта (вероятность за 50 лет)	Δ <i>F</i> , кH (влияние в%)	<i>k</i> <sub>y</sub> , б/р	Е <sub>оп</sub> , кПа
Без дополнительных условий (метод Шахунянца)	0	2,63	-
С учётом гидродинамического давления подземных вод	622	1,09	-
С учётом гидродинамического давления водохранилища	80	2,22	-
Стандартные условия (с учётом гидродинамического давления подземных вод и водохранилища) 100%	702	1,01	-
Влияние сейсмичности 5 баллов (10% обеспеченность)	5	0,98	23,5
Влияние сейсмичности 6 баллов (5% обеспеченность)	10	0,95	60,6
Влияние сейсмичности 7 баллов (1% обеспеченность)	20	0,90	128
Влияние энергии волн, h=2,0 м (15% обеспеченность)	6	0,97	30,8
Влияние энергии волн, h=2,2 м (10% обеспеченность)	9	0,95	54,8
Влияние энергии волн, h=2,5 м (5% обеспеченность)	16	0,92	98,2
Повышение УВ водохранилища 0,9 м (15% обеспеченность)	5	0,98	23,3
Повышение УВ водохранилища 1,2 м (10% обеспеченность)	9	0,95	54,7
Повышение до ФПУ 2,3 м (техноген.фактор)	41	0,80	279
Влияние карста (круглый цилиндр: h=5 м, R=1 м)	11	0,94	68,3
Влияние карста (воронка)	3	0,99	11,4
Стандартные условия (метод Маслова)	-	1,00	-
Стандартные условия (метод Чугаева)	-	1,01	-
Только с учётом гидродин. давления водохранилища	-	1,35	-
Только с влиянием сейсмичности 5 баллов	-	1,31	-
Только с влиянием сейсмичности 6 баллов	-	1,27	
Только с влиянием сейсмичности 7 баллов	-	1,19	
Влияние сейсмичности 5 баллов	-	0,95	
Влияние сейсмичности 6 баллов	-	0,88	-
Влияние сейсмичности 7 баллов	-	0,76	-
Стандартные условия (метод Куваева) 2D	-	1,01	-
Стандартные условия (метод Куваева) 3D	-	1,02	-
Влияние сейсмичности 5 баллов	8	0,96	47,9
Влияние сейсмичности 6 баллов	18	0,91	114
Влияние сейсмичности 7 баллов	33	0,84	219

Под стандартными условиями подразумевается расчёт устойчивости

склона с учётом гидродинамического давления вод водохранилища при нормальном уровне, а также гидродинамического давления подземных вод. Это воздействие принималось за  $100\,\%$ , а влияние других факторов принималось с их вероятностью. Также определялся коэффициент устойчивости склонов, изменение сдвигающей силы  $\Delta F$ , а при  $k_y < 1$  оползневое давление.

При анализе результатов можно сделать следующие выводы. Для изученного склона значения коэффициента устойчивости различными методами близки, что показывает минимальное влияние погрешности методов на получаемый результат, при этом они близки к 1, то есть склон находится в предельном равновесии. Так, даже малое дополнительное воздействие на склон в виде слабого землетрясения, энергии волн водохранилища, подъёма уровня вод водохранилища (затоплении) и образование карстовых воронок могут приводить к сходам оползней, то есть будет значение  $k_{\downarrow}$ <1.

Наибольшее воздействие на устойчивость склона может оказать повышение уровня водохранилища (как техногенный фактор) до форсированного подпорного уровня (ФПУ) до 41% от воздействия гидродинамического давления водохранилища и подземных вод при стандартных условиях, оползневое давление на 1 погонный метр превышает 250 кПа.

Таким образом, вероятность схода оползней на этом склоне высока, поэтому необходимо применить комплекс мероприятий по инженерной защите территории для большей устойчивости склонов с обязательным учётом факторов, приводящих к их неустойчивости, и минимизации их воздействия.

#### Литература:

1. Калинин Э.В. Инженерно-геологические расчёты и моделирование. М: Изд-во МГУ, 2006.— 257с.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЧЕРТЕ П. МИН-КУШ ДЖУМГАЛЬСКОГО РАЙОНА НАРЫНСКОЙ ОБЛАСТИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

#### К. Р. Русланова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Томск, проспект Ленина, 30, ruslanova.1994@inbox.ru

В своем развитии человечеству необходимо бороться с опасными процессами и явлениями, а при освоении горных территорий, зачастую приходится сталкиваться с актуальной проблемой горных зон — оползневыми процессами и явлениями.

На территории Кыргызской Республики насчитывается  $\approx 5000$  современных оползней. Ежегодно число их возрастает, что связано с активизацией сейсмичности, подъемом уровня подземных вод, аномальным количеством выпадающих атмосферных осадков, инженерно-хозяйственной деятельностью человека и др.

Прогнозирование и оценка оползневых явлений сложных территорий являются важнейшей и неотъемлемой частью оценки природных опасностей в Центрально-Азиатском регионе, некоторые методы прогнозирования предложены в работах [1, 2].

Оползни весьма разнообразны по размерам явления, виду смещения масс горных пород, причинам нарушения их равновесия, динамике развития процесса и другим признакам. Каждый оползень образует определенный оползневой участок, захватывающий малую или большую площадь склона или откоса и прилегающей к ним местности. Известны примеры, когда на высоких склонах оползни возникали на разной высоте, образуя два или несколько ярусов. Часто один оползневой участок примыкает непосредственно к другому или располагается на каком-то расстоянии от него, или они спорадически появляются на склоне, простирающемся на километры, десятки или даже сотни километров, образуя целый оползневой район [3].

Каждый оползень обладает той или иной степенью устойчивости. При проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений важно не только выявлять распространение оползней, прогнозировать возможность их образования, но и оценивать степень их устойчивости, чтобы в необходимых случаях предупредить их развитие, приостановить или локализовать их действие (движение).

Анализ существующих методов оценки устойчивости оползневых склонов показал, что данному вопросу посвящены многочисленные теоретические и прикладные исследования советских и зарубежных авторов [4]. Разработанные методы оценки устойчивости склонов отличаются как по строгости математического обоснования, так и по граничным условиям изменения. По данным В. Д. Морозова, Б. Н. Байкова, А. А. Ковтуна, все существующие методы оценки устойчивости оползневых склонов делятся на две группы: расчетные методы и методы моделирования.

Основным населенным пунктом Джумгальского района Нарынской области является пгт. Мин-Куш. В Нарынской области оползневые процессы и явления развиты в предгорных зонах, большая часть участков имеет малую и очень малую степень поражения. На территории области в основном выделена третья степень опасности. Наибольшую опасность пгт. Мин-Куш представляет оползень, сформировавшийся в 2004 году на правом берегу долины р. Туюк-Суу. Данный оползень имеет I категорию уязвимости и относится к зоне второй степени оползневого риска (0,8% от площади района).

С 2004 года проводится комплекс геофизических и геотехнических исследований. В результате проведения работ были получены морфометрические данные, которые позволили уточнить объем оползня. Объем рассматриваемого оползня равен 972 000 м², почти 1,0 млн. м³. При выполнении научно-исследовательской работы для уточнения полученных результатов и для определения наиболее вероятного места расположения подпорной стенки оползень был разделен на 6 блоков. Устойчивость оползневого склона рассчитана методом прислоненного откоса Шахунянца.

Расчеты показали, что склон находится в предельно-напряженном

состоянии, коэффициент устойчивости равен 0,95. Основным мероприятием по стабилизации оползня и инженернойй защите характеризуемой территории является сооружение подпорной стенки. Наиболее рациональным будет ее расположение в районе 3 блока [5, 6].

#### Литература:

- 1. Алёшин Ю. Г., Торгоев И. А. Динамика оползней и оценки риска для зон оползневого поражения // Сергеевские чтения. Вып. 4 М.: ГЕОС, 2002. С. 97–102
- 2. Алёшин Ю. Г., Торгоев И. А. Моделирование синергетических рисков разрушения урановых хвостохранилищ // Сергеевские чтения. Вып. 11 М.: ГЕОС, 2009. С. 252–256.
- 3. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л., «Недра», 1977. 479 с.
- 4. Ольховатенко В. Е. Инженерно-геологические условия строительства крупных карьеров в Кузнецком угольном бассейне. Томск, Изд. ТГУ, 1976 г., 212 с.
- 5. Русланова К. Р., Бычков О. А. Расчет устойчивости оползневого склона в черте поселка Мин-Куш Джумгальского района Кыргызской Республики // Научные механизмы решения проблем инновационного развития, Уфа, 1 мая 2016. Уфа: АЭТЕРНА, 2016 Ч. 3 С. 31–33.
- 6. Русланова К. Р. Оценка устойчивости оползневого склона в черте пос. Мин-Куш Джумгальского района Кыргызской Республики // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 4–8 апреля 2016. Томск: Изд-во ТПУ, 2016. Т. 1 С. 585–586.

#### ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ГИДРОГЕОХИМИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНО-ЯМАЛЬСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РАЙОНА

С.В. Юдин, Р.М. Саитов

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2 <a href="mailto:sergeyydin@gmail.com">sergeyydin@gmail.com</a>
<a href="mailto:SaitovRashid72@gmail.com">SaitovRashid72@gmail.com</a>

Гидрогеологические и гидрогеохимические исследования нефтегазоносных отложений севера Западной Сибири ведутся с пятидесятых годов прошлого века, и к настоящему времени накоплен огромный фактический материал, который отражен в работах следующих исследователей: С. Р. Вагина, А. А. Карцева, В. А. Кирюхина, В. В. Нелюбина, О. Н. Яковлева (нефтегазовая гидрогеология); И. К. Гавича, А. Д. Дучкова, В. И. Дюнина, Ю. Г. Зимина, А. Э. Конторовича, А. Р. Курчикова, (гидродинамические и геотермические условия); Н. М. Кругликова, В. М. Матусевича, Д. А. Новикова, Б. П. Ставицкого, В. М. Швеца (особенности химического состава подземных вод) [1–3].

В тектоническом плане район исследования приурочен к краевой части Ямало-Карской депрессии, южной части Пайхойско-Новоземельской мегамоноклизы. В пределах Южно-Ямальского нефтегазоносного района (НГР) открыто 10 месторождений углеводородов, из которых: 4 нефтегазоконденсатных, 3 газовых и 3 газоконденстаных.

При выполнении гидрогеологической стратификации Южно-Ямальского НГР установлено, что в вертикальном разрезе выделяются два гидрогеологических этажа: верхний и нижний. Промышленный интерес представляют отложения нижнего гидрогеологического этажа, который объединяет четыре водоносных комплекса (сверху-вниз): апт-альб-сеноманский, неокомский, юрский и палеозойский.

Детальный анализ гидродинамических материалов показал, что в пределах региона исследования пластовые давления изменяются от

6 до 37 МПа. Территория характеризуется нормальными и повышенными пластовыми давлениями с коэффициентом аномальности от 0,95 до 1,15. Особенностью региона является наличие аномально высоких пластовых давлений в пределах неокомского и юрского комплексов, на глубине более 2000 м.

В результате проведения геотермического районирования по величине средних значений геотермического градиента выделены три геотермические зоны: повышенных ( $\Gamma_{\rm cp.} > 3,2~^{\circ}{\rm C}/100{\rm m}$ ), фоновых ( $\Gamma_{\rm cp.} = 2,8-3,2~^{\circ}{\rm C}/100{\rm m}$ ) и пониженных ( $\Gamma_{\rm cp.} < 2,8~^{\circ}{\rm C}/100{\rm m}$ ) значений среднего геотермического градиента. Для всех изученных комплексов характерна геотермическая зональность, выраженная в увеличении пластовых температур с запада на восток.

Детальный анализ гидрогеохимических материалов показал, что на территории Южно-Ямальского НГР выявлены солоноватые и соленые воды с минерализацией от 2 до 19 г/дм<sup>3</sup>. Стоит отметить, что в настоящее время в водонапорной системе нижнего гидрогеологического этажа превалирует процесс смешения разных генетических типов подземных вод. Конденсатогенные воды можно идентифицировать по значениям В/Вг генетического коэффициента более 0,75, а также высокими отношениями Ca/Cl и Na/Cl. Как правило, минерализация до 10 г/дм<sup>3</sup>. Седиментогенные воды в большей степени смешены с литогенными (элизионными, термодегидратационными) водами, они характеризуются величиной общей минерализации более 12 г/дм<sup>3</sup> и Cl-Na составом. Для них характерны низкие отношения B/Br, Na/Cl и Cl/Br. Древние инфильтрогенные воды доминируют в прибортовых частях территории исследования. Для них характерна величина общей минерализации до 10 г/дм<sup>3</sup>, Cl-HCO<sub>2</sub>-Na и Cl--Na состав, с отношениями Na/Cl более 1,2 и Cl/Br более 300.

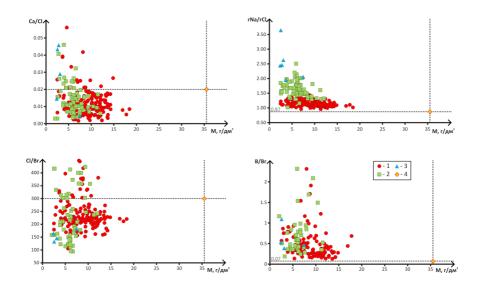


Рис. 1. Выделение генетических типов подземных вод региона исследования Условные обозначения: Типы вод по С. А. Щукареву: *I*— Cl–Na, *2*— Cl–HCO<sub>3</sub>–Na, *3*— HCO<sub>3</sub>–Cl–Na; *4* — точка морской воды

#### Литература:

- 1. Кругликов Н. М., Нелюбин В. В., Яковлев О. Н. Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна и особенности формирования залежей углеводородов. Л.: Недра, 1985. 279 с;
- Матусевич В. М. Геофлюидальные системы и проблемы нефтегазоносности Западно-Сибирского мегабассейна. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2005. — 225 с;
- Ставицкий Б. П., Курчиков А. Р., Конторович А. Э., Плавник А. Г. Гидрохимическая зональность юрских и меловых отложений Западно-Сибирского бассейна // Геология и геофизика. Новосибирск, 2004. т. 45. № 7. С. 826–832.

### Экология и природопользование

### ИССЛЕДОВАНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ГОРОДА ВОЛХОВ В РАЙОНЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

О. И. Вилкус, О. С. Изосимова

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 ksusha.vilkus@mail.ru

Предприятия химической промышленности оказывают серьезное влияние на окружающую среду, уступая в этом плане только предприятиям топливного-энергетического комплекса и транспорту. Одним из таких является крупное предприятие АО «Метахим» в городе Волхов Ленинградской области, на котором ежедневно несколько тысяч жителей города производят минеральные удобрения, серную кислоту и многое другое на экспорт и внутрь страны.

Состояние окружающей среды в Волхове испытывает влияние увеличивающегося количества воздушных выбросов, растущих пропорционально расширению объемов производства на заводе АО «Метахим». В последнее время возросло количество жалоб местных жителей, выражаемых в СМИ на состояние воздуха и неприятные запахи: в основном хлора и серы. На момент проведения исследования автор имел данные только о проверках Роспотребнадзора в отношении АО «Метахим». Информация о проведении проверок экологической обстановки негосударственными компаниями отсутствовала. Исходя из этого, автором было принято решение о проведении собственного исследования о влиянии предприятия АО «Метахим» не окружающую среду. Так же автору было интересно сравнить полученные данные с результатами проверок Роспотребнадзора и сформировать выводы об экологической обстановке района вблизи данного предприятия.

Для решения поставленных задач автором были отобраны 9 проб снежного покрова в начале марта 2018 года, а затем проведен их анализ. Использованный метод исследования был выбран из-за своего удобства и экономичности получения данных о поступлении загрязняющих веществ на подстилающую поверхность. Про-

бы были отобраны непосредственно по периметру предприятия, а также в центре жилых кварталов и рядом с объектами социальной инфраструктуры, расположенных на удалении от 250 до 1000 м от завода АО «Метахим».

Исследование отобранных проб снежного покрова подтвердило соответствие экологической обстановки в районе предприятия АО «Метахим» нормам и стандартам для предприятий химической промышленности. Результаты анализа отфильтрованного осадка проб не демонстрируют превышений ПДК основных выбрасываемых веществ, что подтверждает изученные ранее данные заключения Роспотребнадзора. Согласно данным надзорного ведомства, существует также тенденция их сокращения выбросов загрязняемых веществ, но стоит заметить, что это связано с выводом из эксплуатации аппаратов-экстракторов на производстве, но не вследствие изменения технологии. На основании этого последующий мониторинг влияния данного предприятия на окружающую среду и здоровье населения Волхова и его окрестностей обладает повышенной актуальностью.

В ходе исследования автор также обнаружил факты несоблюдения ориентировочных санитарно-защитных зон (СЗЗ), определяемых в соответствии с продукцией, выпускаемой предприятием. Исходя из того, что основные производственные здания предприятия АО «Метахим» сконцентрированы на одной промплощадке, размер ССЗ приравнивается к наибольшей из них, которая должна составлять не менее 1000 м. На основе проведенных измерений выяснилось, что ориентировочная ССЗ не выдерживается для множества объектов социальной инфраструктуры Волхова, а именно детских садов, школ, парков культуры и отдыха, а также для нескольких десятков жилых строений.

### Литература:

- 1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200—03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (новая редакция)
- 2. СанПиН 2.1.6.1032–01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест»

- 3. Коковкин В.В., Рапута В.Ф., Шуваева О.В. Пространственная динамика аэрозольных выбросов угольной котельной // Химия в интересах устойчивого развития. 1999. Т. 7. С. 477–483.
- 4. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоиздат. 1985.
- 5. Прокачева В.Г., Усачев В.Ф. Снежный покров в сфере влияния города.— Л.: Гидрометеоиздат.— 1989.— 176 с.
- 6. Рапута В.Ф., Коковкин В.В. Методы интерпретации данных мониторинга загрязнения снежного покрова // Химия в интересах устойчивого развития.— 2002.— Т. 10.— С. 669–682.
- Рапута В.Ф., Коковкин В.В. Методология оптимального пробоотбора, схемы химического анализа и модели распространения аэрозольных примесей в мониторинге антропогенных источников // География и природные ресурсы.— 2004.— Спецвыпуск.— С. 162–169.
- 8. http://www.rospotrebnadzor.ru

### СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТЕЛЕ ПОЛИГОНА ТКО «НОВЫЙ СВЕТ-ЭКО»

Н.О. Милютина, В.В. Куриленко

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9 milyutina\_no@mail.ru

Твердые коммунальные отходы (далее – ТКО), размещенные на полигонах, подвергаются воздействию биологических (микробиальное сообщество, простейшие и более высоко организованные животные организмы (черви и др.), растения) и абиотических факторов (кислород, водород, водородный показатель, щелочность, сульфаты, азот, ингибиторы, температура, влажность). В совокупности эти факторы определяют скорость и глубину разложения компонентов ТКО. Протекающие в теле полигонов биохимические и химические реакции обусловливают выделение тепла и образование новых твердых, жидких и газообразных веществ, которые определяют загрязняющее влияние полигонов на объекты окружающей среды.

Изучение процессов, происходящих в теле полигонов ТКО, является актуальной задачей, решение которой позволит усовершенствовать методы защиты окружающей среды и минимизировать негативное воздействие полигонов ТКО. Особое значение имеет оценка эколого-токсикологического воздействия тяжелых металлов, присутствующих в ТКО, их химической реакционной способности, термодинамическим, гидрогеодинамическим параметрам и характеристикам, соотношению свободных и связанных форм и биологической доступности и токсичности.

Наполняющийся полигон непрерывно развивается, биогеохимические процессы в нем сменяют друг друга во времени и пространстве. Для раскрытия особенностей данных процессов разложения органоминеральной массы отходов, необходимо определить химический состав свалочных грунтов и фильтрата по глубине на различных картах полигона ТКО. Полученные результаты позволят интерпрети-

ровать процессы, длящиеся в теле полигона различное время, и соответственно, создать геохимическую модель миграции различных элементов внутри полигона и за его пределы.

Объектом исследования является полигон ТКО «Новый Свет-Э-КО», расположенный в Гатчинском районе. Предприятие ООО «Новый Свет-ЭКО» осуществляет сбор бытовых и строительных отходов III-V классов опасности для окружающей среды по Санкт-Петербургу и Ленинградской области. Летом 2018 г. во время бурения скважин на полигоне был произведен отбор образцов свалочного грунта и фильтрата.

Отбор проб свалочного грунта был проведем методом конверта согласно ГОСТ 17.4.3.01-83 и 17.4.4.02-84 [1, 2] из 6 скважин глубиной от 18 до 25 м. Пробоподготовка заключалась в получении кислотной экстракции в азотной кислоте.

Исследования образцов проводились с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ «Методы анализа состава вещества». Количественный анализ на содержание тяжелых металлов в образцах определялось методом индуктивно связанной плазмы на оптическом эмиссионном спектрометре ICPE-9000.

Полученные результаты будут положены в основу геохимической модели миграции элементов в теле полигона ТКО и за его пределы.

### Литература:

- 1. ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. Введен постановлением №6393 от 21 декабря 1983 г.;
- ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Введен постановлением №4731 от 19 декабря 1984 г.

### ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ГОРОДА КОММУНАРА

Е.В. Надточий1

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9 katya nadtochii@mail.ru

Город Коммунар является вторым по величине городом Гатчинского района Ленинградской области, специализирующимся на производстве картонной, синтетической и электронной продукции. Более того, населенный пункт входит в агломерацию г. Санкт-Петербурга, что увеличивает количество автомобильных перевозок людей и грузов. Относительно большое количество предприятий на небольшой территории вместе с предыдущим фактором оказывают влияние на трансформацию природной среды вокруг урбоэкосистемы, что создало предпосылки для проведения исследований загрязнения почвенного покрова и его последующей эколого-геохимической оценки.

В ходе полевых работ отобрано 57 проб почв с горизонта 0–20 см в соответствии с [1] и [2], при этом 42 из них образовали регулярную сеть отбора и были отобраны в летне-осенний период, а 15 представляли сеть сгущения для выявления особенностей распределения содержания тяжелых металлов на одном из участков и были отобраны весной. В лабораторных условиях пробы были высушены до воздушно-сухого состояния, измельчены в фарфоровой ступке и просеяны через сито с диаметром ячеек 1 мм. Для проведения анализа почвенных образцов был выбран рентгенофлуоресцентный метод исследования. Перечень определяемых тяжелых металлов включал в себя марганец, медь, никель, свинец, цинк. Анализ образцов проводился с помощью прибора РА-104.

Результаты исследований показали небольшие превышения значений содержания тяжелых металлов над региональным фоном и кларковыми значениями в отдельных пробах, что свидетельствовало об отсутствии или незначительном загрязнении поверхностного слоя почвенного покрова на глубине 0–20 см как вблизи промышленных

предприятий, так и автомобильных и железных дорог. Тем не менее, содержание свинца, цинка и меди было повышено в почвенном покрове в окрестностях предприятий «Кнауф Петроборд», «Smurfit Карра» и «Коммунар», производящих картонную продукцию, под насаждением яблонь в г. Коммунаре и на некоторых участках залежей относительно других участков.

Расчёт суммарного показателя загрязнения почв Zc подтвердил отсутствие загрязнения почвенного покрова на территории города (рис. 1). В 41 из 42 проб исходной выборки значение коэффициента Zc составило 10 единиц и менее, поэтому почвы были отнесены к «допустимой» категории загрязнения [3]. Исключение составила проба почвы № 1–4, где Zc оказался равен 43. При проведении дополнительных исследований в окрестностях выделяющегося участка в двух из 15 проб значения оказались равными 21 и 180, в связи с чем почвы были отнесены к «умеренно опасной» и «чрезвычайно опасной» категориям [3]. Кроме того, в пределах участка было обнаружено большое количество

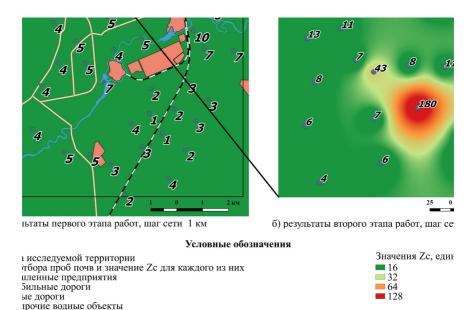


Рис. 1. Пространственное распределение значений суммарного показателя загрязнения почв Zc в пределах изучаемой территории

бытовых отходов и строительного мусора, а также напоминающего золу вещества. Повышенное содержание тяжёлых металлов могло стать следствием захламления металлическими предметами, обжига проводов, несанкционированного слива машинного масла, а также поступлением тяжёлых металлов из разрушенного трубопровода.

По результатам работ было отмечено локальное накопление тяжёлых металлов в поверхностном горизонте почвенного покрова. В связи с этим, для выявления геохимических аномалий при картировании почвенного покрова городов рекомендуется использовать крупномасштабную съемку. В рамках данного исследования рекультивацию нарушенных земель проводить не требуется ввиду небольшой площади загрязнения, однако рекомендуется осуществлять ведение мониторинга почвенного покрова вблизи предприятий не реже одного раза в 10 лет.

#### Литература

- ГОСТ 17.4.3.01–83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
- ГОСТ 17.4.4.02—84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
- 3. СанПиН 2.1.7.1287-03 Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ГЕОРАДИЛОКАЦИОННОЙ СЪЁМКИ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ДНА ОЗЕРА ЛОШАМЬЁ

К.Э. Себровский, С.В. Лебедев

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 <a href="mailto:sebrovskiy.k@gmail.com">sebrovskiy.k@gmail.com</a>

При опробовании озерных донных отложений схема и густота точек отбора проб должна учитывать глубину и характер рельефа дна. Это позволит улучшить представительность эколого-геологического мониторинга. Объектом исследования являлось о. Лошамье, расположенное на заповедной территории национального парка «Смоленское Поозерье». Исходным материалом для составления батиметрической карты являлись данные георадиолокационного профилирования.

Измерения проводились в период ледостава по набору профилей. Так как озеро Лошамьё имеет вытянутую вдоль направления северо-запад — юго-восток форму, георадиолокационные профили были проложены поперёк этого направления.

Результатами профилирования стали георадиолокационные разрезы вдоль каждого из профилей, которые стали основным источником данных для создания карты глубин озера. Так же были зафиксированы географические координаты начала и конца каждого из профилей. Всего для построения карты глубин использовано 11 профилей длиной от 200 до 500 м.

Основной проблемой на начальном этапе было то, что необходимые для построения цифровой модели данные были представлены в виде 11-ти растровых изображений в формате bmp, а конечными данными должно быть достаточное количество точек на привязанной топооснове со значениями глубин приемлемой точности в каждой точке. Наиболее оптимальным решением проблемы стала полуавтоматическая векторизация каждого из изображений.

Для этого был использован пакет программ Easy Trace, который по своей сути предназначен для работы с оцифрованными копиями

бумажных карт, фотоснимками местности и т.п. [1]. Методом трассировки ломаных линий линия поверхности дна каждого из разрезов была разбита на множество прямых отрезков, соединённых узлами.

Конечный результат векторизации представлен в виде таблицы, где каждой строке соответствует узел и точка с определённой глубиной на будущей карте, а в ячейках строки указано расстояние от начала профиля и глубина в метрах.

Опираясь на положение условных реперов — точек начала и конца каждого из профилей, и данные, полученные после векторизации каждого из разрезов, в среде ArcGIS были нанесены точки с присвоением каждой атрибута глубины. В среднем на каждом из профилей идентифицировано от 25 до 50 точек. Всего получили 283 точки. Полученное поле точек было проинтерполировано инструментами ArcGIS [2].

В итоге была получена карта глубин оз. Лошамьё (рис. 1), на которой отчётливо прослеживаются характерные черты рельефа дна озера. Широким перешейком озеро разделено на две части: на большую (около  $0.28~{\rm km}^2$ ) и более глубокую (до  $25~{\rm m}$ ) северо-западную часть и меньшую (около  $0.1~{\rm km}^2$ ) и менее глубокую (до  $12~{\rm m}$ ) юго-восточную часть. Так же по карте видно, что рельеф дна юго-восточной части более изрезан по сравнению с северо-западной частью.

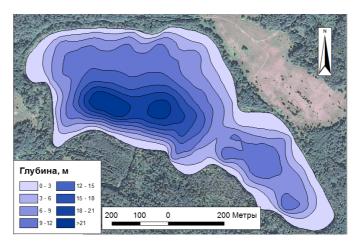


Рис. 1. Карта глубин оз. Лошамьё.

### Литература:

- 1. Easy Trace Professional ver. 9.х: Руководство пользователя. Часть 1.— 273 с.
- 2. ESRI. ArcGIS9 Geostatistical Analyst: Руководство пользователя. М.: Издательство DATA+, 2001. 278 с.

### ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗОЛОШЛАКООТВАЛА (Г.ПИТКЯРАНТА)

А.С. Флеенко, Е.Н. Цехмистер, И.И. Подлипский

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 <a href="mailto:fleenkospb@mail.ru">fleenkospb@mail.ru</a>

Одно из первых мест по объемам и опасности для окружающей среды среди отходов, образующихся на территории России, занимают золошлаковые отходы [1].

Золошлакоотвал города Питкяранта как целостная экогеологическая система «отвал — и окружающая среда» [2] является объектом данного исследования. Отвал представляет собой тело неправильной формы размерами не менее  $150\times250$  м. (около 0.5 км²), мощностью от 0.3 до 9 м. и объемом не менее  $3-3.5\cdot10^6$  м³. Золошлаковый материал представляет собой рыхлую массу бурого, коричневого и светло-коричневого цветов [3].

В процессе проведения эколого-геохимической оценки были выполнены: сбор, обработка и анализ ранее опубликованных данных; рекогносцировочное исследование территории; изучение растительного покрова; почвенные исследования; радиальная лито- и биогеохимическая съемка; буровые работы; биоиндикационная оценка; исследование и оценка радиационной обстановки. После окончания полевого этапа исследований был проведен химический анализ проб почвы, растительности и четвертичных отложений на содержание Рb, Zn. Cu и As (анализатор AP-104), статистический [4] и комплексный экогеологический анализ полученных данных [5, 6].

В ходе краткого геоботанического описания территории исследуемого объекта выделены пять типов растительности: рудеральное сообщество железнодорожной насыпи; рудеральное сообщество склона золошлакоотвала; заболоченная местность с мхами, осоками и хвощами; сильно нарушенный березняк-ольшанник; смешанный лес, менее затронутый антропогенным воздействием.

Почвы исследуемой территории относятся к урбаноземам на погребенных торфяно-подзолистых почвах. В северо-западной части отвала в первых десяти сантиметрах от поверхности наблюдаются высокие значения коэффициента радиальной дифференциации для всех рассматриваемых элементов. В то время как в юго-восточной части данный показатель не превышает 1,1.

В ходе буровых работ и последующего анализа отобранных проб установлено, что южная скважина характеризуется высоким коэффициентом радиальной дифференциации для Pb, Cu и очень высоким для As. В северо-восточной скважине данный показатель в верхних горизонтах не принимает значений выше 1, что говорит о природном распределении элементов.

По результатам литогеохимической съемки получены превышения фоновых значений на данной территории для всех рассматриваемых элементов. Ряд накопления химических элементов I–III классов опасности для почв имеет следующий вид:  $Cu_{560ДK}$ — $As_{430ДK}$ — $Zn_{250ДK}$ — $Pb_{30ДK}$ . Среднее значение суммарного показателя загрязнения почв составило 219, что соответствует «чрезвычайно опасной» категории загрязнения.

По результатам биогеохимической съемки получены средние превышения фоновых значений на данной территории для годичных побегов ели и листьев березы. Анализ корреляционной зависимости концентрации рассматриваемых тяжелых металлов в почвах и биоматериале показал, что ель и береза являются безбарьерными растениями по отношению к Zn и высокобарьерными для Pb и Cu [6]. Это подтверждают и результаты применения биоиндикационного метода оценки асимметрии листовых пластинок березы пушистой (лат. Betula Pubescens).

Среднее значение экспозиционной дозы ионизирующего излучения соответствует 10,5 мкР/ч. Не было выявлено значений дозы, превышающих среднее значение нормального уровня гамма-фона республики Карелия (15-20 мкР/ч).

Итак, золошлакоотвал города Питкяранта содержит в своем составе значительное количество тяжелых металлов, которые могут оказывать

негативное воздействие на все компоненты среды и создавать опасность загрязнения для прилегающих территорий. Техногенное образование подвергается активной ветровой эрозии, а часть его, приуроченная к Питкярантскому заливу, разрушается под действием водной эрозии.

#### Литература

- 1. Черенцова А. А., Олесик С. М. Оценка золошлаковых отходов как источник загрязнения окружающей среды и как источник вторичного сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень (науч.техн.жур.). Москва: Изд-во. «Горная книга», 2013. с. 231–238.
- 2. Подлипский И.И. Эколого-геологическая характеристика полигонов бытовых отходов и разработка рекомендаций по рациональному природопользованию: Автореф. дис. кандид. геолого-минералогических наук. СПб: Изд-во СПбГУ, 2010.
- Подлипский И. И. Эколого-геологическое зонирование современных геологических объектов сложенных техногенными грунтами. / Материалы XVII межвузовской молодежной научной конференции «Экологические проблемы недропользования». СПб: Изд-во СПбГУ, 2017. с. 51–59.
- 4. Иванюкович Г. А. Статистический анализ экогеологических данных: Практикум решения задач с помощью пакета программ Statistica. Учебное пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2010. 204 с.
- 5. Сает Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды Москва: Недра, 1990.— 335 с.
- Перельман А. И., Касимов Н. С., Геохимия ландшафта. Учебник. М.: МГУ, 1999, 324 с
- 7. Ковалевский А. Л. Биогеохимия растений и поиски рудных месторождений. Дисс. докт. геол.-мин. наук. М., 1983. 360 с.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАТЕРАЛЬНОЙ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ, ПРОВЕДЕННОЙ НА РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ СВАЛКАХ ТБО (Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ)

 $E. H. Цехмистер^1, И. И. Подлипский^2$ 

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, <sup>1</sup>kate.tsehmister@gmail.com, <sup>2</sup>primass@inbox.ru

Из-за роста города Санкт-Петербург, многочисленные свалки, ранее находящиеся вне границы города, ныне располагаются в зоне жилой застройки. Это приводит к острой необходимости проведения рекультивации участков, заключающейся в восстановлении продуктивности и народнохозяйственной ценности территорий. К уже закрытым подобным объектам относятся Яблоновская свалка и свалка в Угольной гавани. [1]

При оценке эффективности рекультивации в качестве ведущего метода использовалась литогеохимическая латеральная съемка для определения содержания тяжелых металлов в поверхностном слое почвогрунтов. Для анализа спектроскопическим методом (анализатор AP-104) были выбраны следующие элементы: Pb, Zn, Cu, Ni, Fe и Mn.

Для оценки характера и степени воздействия исследуемых свалок на компоненты окружающей среды, они рассматривались как системы «полигон ТБО — прилегающие территории», [2] поэтому опробование почвогрунтов производилось и в контуре локализации отходов, и на прилегающих территориях, в том числе в зоне жилой застройки.

Обработка данных включала в себя проведение статистического [3,4] и экологического анализа [4]. В качестве главного критерия использовался интегральный показатель суммарного загрязнения почв ( $Z_c$ ) (СанПиН 2.1.7.1287–03).

Было выявлено, что почвогрунты исследуемых территорий характеризуются высоким содержанием большинства тяжелых металлов. Ряд накопления химических элементов для почвогрунтов Яблонов-

ской свалки имеет следующий вид (цифрами показано во сколько раз выявленные содержания выше фоновых)  $Zn_5-Cu_4-(Pb,Mn)_3-Ni_2$ , для свалки в Угольной гавани —  $Zn_{13}-Cu_{10}-Pb_7-Mn_4-Ni_3$ .

Превышение ОДК (ГН 2.1.7.2511–09) на Яблоновской свалке по Zn в 4 раза, по Pb и Cu в 2 раза; на свалке в Угольной гавани по Zn в 10 раз, по Cu в 6, по Pb в 4 раза, по Ni в 2.

Величина показателя суммарного загрязнения тяжелыми металлами варьирует от 5 до 32 усл. ед. при среднем 14, что соответствует «допустимой» категории загрязнения для Яблоновской свалки, для свалки в Угольной гавани величина показателя варьирует от 6 до 154 усл.ед. при среднем 34, что соответствует «опасной» категории загрязнения.

Ореол «умеренно опасной» категории загрязнения Яблоновской свалки занимает 30% площади исследуемой территории и приурочен к восточной и западной части свалочного тела (рис. 1). Это может быть связано с тем, что при размывании откосов обнажаются свалочные грунты, характеризующиеся высокие значениями содержаний тяжелых металлов.

На свалке в Угольной гавани площадь «опасной» и «чрезвычайно опасной» категории загрязнения приурочена ко всему контуру локализации отходов и составляет 50% от всего исследуемого участка (рис. 1).

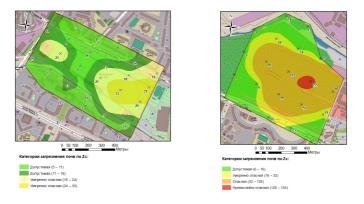


Рис.1. Схема распределения значений суммарного показателя загрязнения территории Яблоновской свалки (слева) и свалки в Угольной гавани (справа)

Загрязнение прилегающих территорий не было выявлено и требует дальнейшего изучения. Однако, было доказано значительное превышение содержания тяжелых металлов фоновых значений и ОДК в контурах локализации отходов, свидетельствующее о несоответствии результатов рекультивации требованиям нормативных санитарно-гигиенических документов.

### Литература:

- 1. Цехмистер Е. Н., Подлипский И. И. Разработка концепции оценки качества проведенной рекультивации объектов накопленного экологического ущерба на территории г. Санкт-Петербург // Сергеевские чтения: Вып. 20: Обращения с отходами: задачи геоэкологии и инженерной геологии. Москва: РУДН, 2018. С. 47–51.
- Подлипский И. И. Эколого-геологическая характеристика полигонов бытовых отходов и разработка рекомендаций по рациональному природопользованию: Автореф. дис. кандид. геолого-минералогических наук. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2010.
- 3. Иванюкович Г. А. Статистический анализ экогеологических данных: Практикум решения задач с помощью пакета программ Statistica. Учебное пособие. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет, 2010. 204 с.
- 4. Цехмистер Е. Н., Подлипский И. И. Оценка качества рекультивации полигонов ТБО в городе Санкт-Петербург // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии. XXIX Молодёжная научная конференция памяти К. О. Кратца. 2018, (в печати).

## ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ РАЙОНАХ АРКТИКИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

E. C. Черных $^1$ , В. Н. Сальников $^2$ 

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Томск, проспект Ленина, 30 <sup>2</sup>Русское Географическое Общество, 634055, г. Томск, пр. Ленина, 75, Томский областной краеведческий музей имени М.Б. Шатилова alenachernykh999@gmail.com

Особую актуальность представляют исследования связанные с освоением нефтегазовых месторождений в Арктике. Проблемы изменения среды обитания человека при воздействии непериодических быстропротекающих процессов на ландшафт в геоактивных зонах при разработке нефтегазовых месторождений являются приоритетными. К их числу можно отнести природные и антропогенно-техногенные явления [1]. Природные непериодические быстропротекающие явления это: землетрясения, цунами, оползни, падение метеоритов, болидов, образование кратеров, диатрем, электромагнитных систем в литосфере, атмосфере и космосе, которые изменяют ландшафтную сферу. К антропогенно-техногенным явлениям относятся: испытание ядерного оружия, аварии на атомных электростанциях, гидроэлектростанциях, на промышленных предприятиях, горные удары и взрывы метана в шахтах. В последнее время возникают аномальные ямы на Ямале, вследствие исчезновения земли. Две «ямы» возникли на полуостровах Ямал и Гыдан. Третью нашли на полуострове Таймыр на устье Енисея в апреле 2012 года. Диаметр 4 метра и глубиной 100 м. Грунт разбросан на 900 м. Механизм образование ямы исследователи объясняют скоплением метана с последующим выбросом грунта. Такой механизм возникновения ям при дегазации осадочных толщ и глобальным потеплением планеты представляется затруднительным, так как грунт из ям или полностью исчезает или от него остается 10-15% от объема [2]. Эти уникальные образования трудно объяснить климатическими, геологическими процессами, суффозией, карстообразованием, обрушением горных выработок, падением метеоритов. Ранее нашими исследованиями установлено, что кроме образования ям, то есть изменения рельефа местности электромагнитными системами в местах выхода из литосферы, релаксация может сопровождаться вывалами леса, пожарами, взрывами и разрушениями техногенных сооружений (рис. 1). Наши исследования показывают, что ямы и отверстия в земле образовывались в результате энергетической литосферной разгрузки за счет механоэлектрических преобразований в горных породах при протекании природных и техногенных физико-химических процессов (фазовые переходы 1-го и 2-го рода) [3]. В лабораторных условиях при измерении температурной зависимости электропроводности и электромагнитной эмиссии минералов и горных пород разного состава установлено их электретное состояние, то есть минералы диэлектрики способны длительное время удерживать объёмный заряд (палеоэлекеричество) и являются электретами.

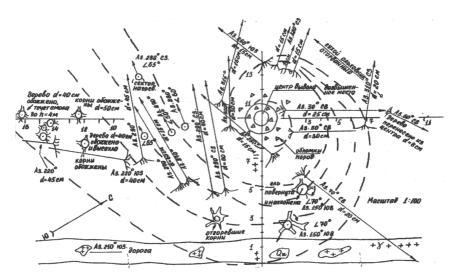


Рис. 1. План вывала леса при формировании электромагнитной системы (топосъемку и схему составил В. Н. Сальников). Примечание: смена знака биолокационного эффекта (+-); градиент магнитного поля  $(\pm \gamma)$ ;  $\rightarrow$  поваленные деревья;  $\circlearrowleft$  — азимут наклоненных деревьев

Мы считаем, что полевая электромагнитная система может образоваться в литосфере при фазовых переходах в минералах, генерирующих электромагнитное изучение. Принимая квазикристаллическую структуру в эллиптическом пространстве Римана, такая система обладает сверхпроводимостью и может выноситься в атмосферу, компенсируя узлы квазикристалла атомами, молекулами, частицами горных пород, стремясь перейти от полевой дискретной структуры к вещественной. Предполагается, что накопление энергии в литосфере и ее выделение из горных пород происходит при различных видах возбуждения: сейсмической активности и подготовки очагов землетрясений в результате производства ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне, на Новой Земле, Ямало-Ненецком национальном округе и других районов Севера и Западной Сибири [4]. Вероятно, поэтому, ямы, отверстия в земле и другие изменения рельефа образовывались в результате энергетической литосферной разгрузки за счет механоэлектрических преобразований в горных породах при протекании природных и техногенных процессов.

### Литература

- 1. Сальников В.Н., Черных Е.С. Непериодические быстропротекающие явления в окружающей среде//Sciences of Europe.-2017-Vol.5.-№ 11.- P.9–25.
- Chernykh E. S. Changing of geological environment under the influence of non-recurrent fast processes/ Proceedings of the XXI International Scientific Symposium: Problems of geology and subsurface development (Russia, Tomsk), 2017.-Part 2.-P.934-935.
- 3. Сальников В. Н. Электромагнитные системы литосферы и техногенеза. Томск, 1991. 381 с. Деп. в ВИНИТИ 18.03.91, № 1156-В91.
- 4. Булатов В.И. Россия радиоактивная.— Новосибирск: ЦЭРИС, 1996.-272 с.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОДОГРЕВЕ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ

Е.С. Шипика, С.Г. Гендлер

Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, 2 <a href="mailto:shipika91@mail.ru">shipika91@mail.ru</a>

Подземная добыча угля в России, в основном, осуществляется в регионах с суровым климатом, что определяет необходимость подогрева наружного воздуха зимой перед подачей его в горные выработки. При необходимых для проветривания шахт количествах воздуха  $(Q_a)$ , достигающих 500 м³/с и более, его температуре на поверхности — 20–25 °C, тепловая мощность калориферных установок составляет 17–22 мВт при значении температуры теплоносителя — 60–120 °C. Энергетические затраты такой величины приводят как к повышению себестоимости добычи угля, так и к ухудшению экологической обстановки в тех районах, где для выработки тепловой или электрической энергии в качестве топлива используется уголь [1].

Альтернативой традиционным источникам энергии являются, так называемые, возобновляемые, природные источники, в частности атмосферой воздух, солнечная энергия, энергия ветра, тепловая энергия, аккумулированная в гелиотермозоне и поверхностном слое гидросферы (морская, речная и озерная вода) и литосферы (шахтная вода и горные породы) энергия) [1], а также добываемые попутно с углем газообразные энергоносители [2].

Теплонаносные технологии широко используются для подогрева воздуха в промышленных и производственных зданиях, для поддержания необходимых параметров воздуха в метрополитенах, для теплоснабжения горнодобывающих предприятий [3]. Шахтная вода из системы водоотлива после ее предварительной очистки [4] поступает в тепловой насос (ТН), где ее температура повышается до 55 - 60 °C, после чего она направляется в калорифер, где она используется для

подогрева наружного воздуха (НВ), который затем подается в ствол шахты [5].

Эффективность работы теплового насоса определяется коэффициентом трансформации (ratio of transformation) теплоты  $K_{\rm rt}$ , который равен отношению теплоты  $N_{\rm lp}$ , полученной в конденсаторе, к мощности  $N_{\rm tp}$ . теплового насоса (мощность, потребляемая компрессором) [6]. При поступлении нагретой в конденсаторе воды непосредственно в водяной калорифер, его тепловую мощность  $N_{\rm h.w.}$  можно, ориентировочно, принять, соответствующей теплоте  $N_{\rm lp}$  полученной в конденсаторе. Тепловая мощность калорифера будет составлять:

По нагреваемому воздуху:

$$N_{\rm hw} = \rho_{\rm a} C_{\rm a} Q_{\rm a} \Delta t_{\rm a} \tag{1}$$

По подаваемой из конденсатора воде:

$$N_{\text{h.w.}} = \rho_{\text{w.h.a}} C_{\text{w.h.a}} Q_{\text{m.w.}} \Delta t_{\text{h.w.}} \tag{2}$$

где  $\rho_a C_a$  — плотность и удельная теплоемкость воздуха, кг/м³, кДж/ (кг· °С);  $\Delta t_a = (t_{\text{m.a.}} - t_a)$ ,  $t_{\text{m.a.}}$  — заданная правилами безопасности минимально-допустимая температура воздуха после подогрева, °С;  $\rho_{\text{w.h.a.}}$ ,  $C_{\text{w.h.a.}}$  плотность и удельная теплоемкость воды при средней температуре в калорифере, кг/м³, кДж/(кг·0С);  $\Delta \theta_{\text{h.w.}} = (\theta_{\text{h.lf.ex.}} - \theta_{\text{h.h.a.ex.}})$ ,  $(\theta_{\text{h.lf.ex.}} - \theta_{\text{h.h.a.ex.}})$  — температуры воды на входе в калорифер (на выходе из конденсатора) и выходе из него, °С;

Учитывая, что коэффициентом трансформации теплоты  $K_{\rm tr.r}$  является обратной величиной к отношению  $N_{\rm tp}/N_{\rm h.W}$ , а его значение, как правило, находится в интервале 1,5–5, представляется область рациональной работы теплового насоса в системе подогрева наружного воздуха шахты заключена между значениями  $N_{\rm h.p}/N_{\rm h.W.}$  равными 0,2–0,67. Очевидно, что эффективность использования теплового насоса повышается при увеличении коэффициента трансформации теплоты и при повышении температурного потенциала воды.

Таким образом, предложенная методика подогрева наружного воздуха предполагает использование теплового насоса, позволяющего повысить температурный потенциал шахтной воды до значения, соответствующего температурному потенциалу теплоносителя, получаемого традиционными методами. При этом суммарные энергетические затраты на подогрев наружного воздуха могут быть снижены в 1,5–2 раза.

### Литература:

- Шувалов Ю. В. Регулирование теплового режима шахт и рудников Севера// Изд. ЛГУ, 1988. 192 с.
- 2. Shipika E. S. Employment of natural energy sources for outer air heating over winter time on coal mines// Current problems of environmental protection, Assessment of the state of environment, Threats of the environment, Applied technologies in environmental protection.— 2017,— University of Silesia, Katowice,—Poland,—P. 94–95.
- Портола В. А. Эффективность подогрева воздуха в шахтах путем прямого сжигания метана// Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 2. С. 62–64.
- Гендлер С.Г. Перспективы использования природных источников энергии для подогрева наружного воздуха на угольных шахтах/ С.Г. Гендлер, Е.С. Шипика.// Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017, -Вып.4. Тула: Изд-во ТулГУ, с. 283–293.
- Закиров Д. Г. Утилизация низко потенциального тепла шахтных вод — перспективное направление энергосбережения угольной отрасли/ Д. Г. Закиров, И. Х. Нехороший, А. Н. Малахов, Л. Ф. Дружинин // Уголь. 2000. № 11.
- Гендлер С. Г., Ковшов С. В., Шипика Е. С. Установка для подогрева наружного воздуха/ С.Г Гендлер., С.В., Ковшов Е. С. Шипика//пат. РФ № 2016149908; заявл. 19.12.2016.//Патент России № 171440, 31.05.2017. Бюл. № 16.

### Авторский индекс

### Авторский индекс

D. D. A.G., 21	Г.Н. Киселев 133
В.Р. Абдулина 31	
Е.Ю. Акимова 34	E. B. Климова 111
В.Н. Александров 94 А. А. М. А. Аль-Кебси 138	Д.М. Ковальчук 61
А. А. М. А. Аль-кеоси 138 А. Р. Ахметзянова 37	E. C. Корепанов 152
	С.В. Кривовичев 58
А.В. Баранская 97	А.А. Кудинов 15 М.В. Кудинов 114
А.В. Березин 77	М.В. Кузнецов 114
А.С. Борисов 40	H.C. Кузьминых 165
В.А. Борисова 42	В.В. Куриленко 184
Е.Б. Борисова 45	А.В. Кушнарева 117
Р.С. Бубнова 55, 75	С.В. Лебедев 189
И.Ж. Бунин 87	А.Б. Лемешко 63
О.С. Верещагин 42, 52	П.Г. Лескова 168
О.И. Вилкус 181	К.И. Лохов 126
В. А. Владимирова 48	Л.Б. Макарьев 103
К.А. Гаврилова 141	А.В. Максименко 149
Б.М. Галиуллин 69	Г.С. Максимов 120
С.Г. Гендлер 201	Е.М. Максимова 120
М.С. Гинга 6	С.А. Маркова 19
О.В. Головко 52	Н.О. Милютина 184
А.Г.Гончаров 107	А.Д. Михеева 69
Н.А. Гордеев 9	А.Б. Молчанов 9
Н.В. Дмитриева 55	А.Н. Москаленко 123
К.А. Дубкова 100	Д.Д. Мыца 22
А.В. Евдокименко 12	М.А. Надпорожская 42
У.С. Ефремова 103	Е.В. Надточий 186
Е.С. Житова 58	И.А. Наухацкий 120
А.И. Задоя 31	А.Г. Николаев 37, 69, 84
Р.А. Зиганшина 144	А.В. Новикова 97
А.А. Золотарев мл. 58	М.А. Павлова 126
А.А.Иванова 45	И.И. Подлипский 192, 195
О.С. Изосимова 181	М.П. Попов 37, 84
Н.Д. Исламидинов 147	А.А.Прасолов 171
Р.М. Исмагилова 58	В.А. Прокопец 72
И.С. Каешков 161	И.В. Рева 24
А.В. Караваев 149	М.А. Рудмин 24
А.А. Караман 107	К.Р. Русланова 174
М.П. Кашкевич 6	В.М. Саватенков 114

А. Д. Савельев 129 Р.М. Саитов 155, 177 Л.И. Салимгараева 77 В.Н. Сальников 198 О.Ю. Сапрыкина 75 О.Г. Сафонов 80 П.И. Сафронов 147 К.Э. Себровский 189 А.М. Седова 42 Н.Е. Селютина 80 А.Ю. Сергеев 12 О.И. Сийдра 31, 40, 48 С.Г.Скублов 77 С.М. Снигиревский 126 А.Н. Сукнотова 12 Л.Р. Тагирова 84 В.М. Теплоухов 149 Е.И. Тимохина 120 В.А. Токарев 27 С.К. Филатов 55, 75 А.С. Флеенко 192 Н.А. Франц 42 И.А. Хабарова 87

С.С. Цветков 158 Е.Н. Цехмистер 192, 195 В.А. Чеботарева 133 В.И. Чеканов 161 Е.С. Черных 198 А.П. Шаблинский 55 Ю.С. Шелухина 126 Е.С. Шипика 201 А.В. Шурунов 161 С.В. Юдин 155, 177 Г.А. Юргенсон 69 B

S. Beygi 91

#### S

H. Safaei 91 N.P. Senchina 91 A. Sohrabi 91

### T

I.V. Talovina 91

### Научное издание

## Молодежная научно-практическая конференция XVI конференция студенческого научного общества «СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ГЕОЛОГИИ»

Компьютерная верстка: Мещерин В.В.

Подписано в печать 18.10.2018. Формат  $60 \times 84^{1/16}$ . Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать цифровая. Усл. печ. л. 11,97. Тираж 100 экз. Заказ № 707.

Отпечатано в Издательстве ВВМ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Швецова, 41.