

# ГЕОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

---

## РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕНИЯ В ДИКТИОНЕМОВЫХ СЛАНЦАХ ПРИБАЛТИЙСКОГО БАСЕЙНА

*Балахонова А.С.*

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского  
(ФГУП «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: [Alina\\_Balakhonova@vsegei.ru](mailto:Alina_Balakhonova@vsegei.ru)

**Приведены результаты оценки прогнозных ресурсов рения в диктионемовых сланцах Прибалтийского бассейна Ленинградской области в пределах Кайболово-Гостилицкой площади. Показана высокая потенциальная стоимость ожидаемых извлекаемых запасов рения.**

## RESOURCE POTENTIAL OF RHENIUM IN THE BALTIC BASIN DICTYONEMA SHALES

*Balakhonova A. S.*

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (FSUE «VSEGEI»), Saint Petersburg, Russia,  
e-mail: [Alina\\_Balakhonova@vsegei.ru](mailto:Alina_Balakhonova@vsegei.ru)

**Article tells about expected rhenium resources assessment results of in the Baltic basin dictyonema shales in the Leningrad region within Kaybolovo-Gostilitskaya Area. Also it tells about the high potential cost of the expected taken rhenium reserves.**

В последнее время возрастает острая необходимость создания собственной минерально-сырьевой базы (МСБ) рения в России. Рений – металл стратегического назначения, он используется в авиаракетно-космической, нефтехимической промышленности и т.д. МСБ рения в России, зафиксированную в ГБЗ, представляют Сорское и Агасырское месторождения в Хакасии, Мало-Ойногорское в Бурятии, Аг-суг в Тыве. Из них разрабатывается лишь Сорское. Рений в этих месторождениях связан с молибденитом и при обогащении полностью теряется. Кроме того, в Сахалинской области известны динамические запасы рения по рудопроявлению вулкана Кудрявый.

Возможный путь для России в плане создания МСБ рения – поиск его нетрадиционных источников. Одними из них являются диктионемовые сланцы Прибалтийского бассейна. Это и определило необходимость постановки в 2012 г. во ВСЕГЕИ поисковых работ в Ленинградской области на рений, в пределах Кайболово-Гостилицкой площади, с оценкой прогнозных ресурсов рений по категории  $P_2-P_1$ .

В итоге проведенных работ было показано, что *рений в диктионемовых сланцах – это новый перспективный геолого-промышленный тип оруденения*. А оцененный ресурсный потенциал рения в диктионемовых сланцах в стоимостном выражении имеет значительную ценность.

Прогнозные ресурсы рения по кат.  $P_2-P_1$  в продуктивном горизонте пласта диктионемовых сланцев только в пределах Кайболово-Гостилицкой площади ( $S = 593,4 \text{ м}^2$ ) составляют 427,3 т, при среднем содержании рения 0,14 г/т (рис. 1). Поскольку концентрации

рения уменьшаются в нижней части разреза пласта (рис. 2) в нем был выделен продуктивный горизонт на рений. Он представляет собой верхнюю и среднюю части разреза пласта диктионемовых сланцев с концентрациями рения выше оценочных (0,05 г/т). Средняя мощность этого горизонта – 1,8 м.

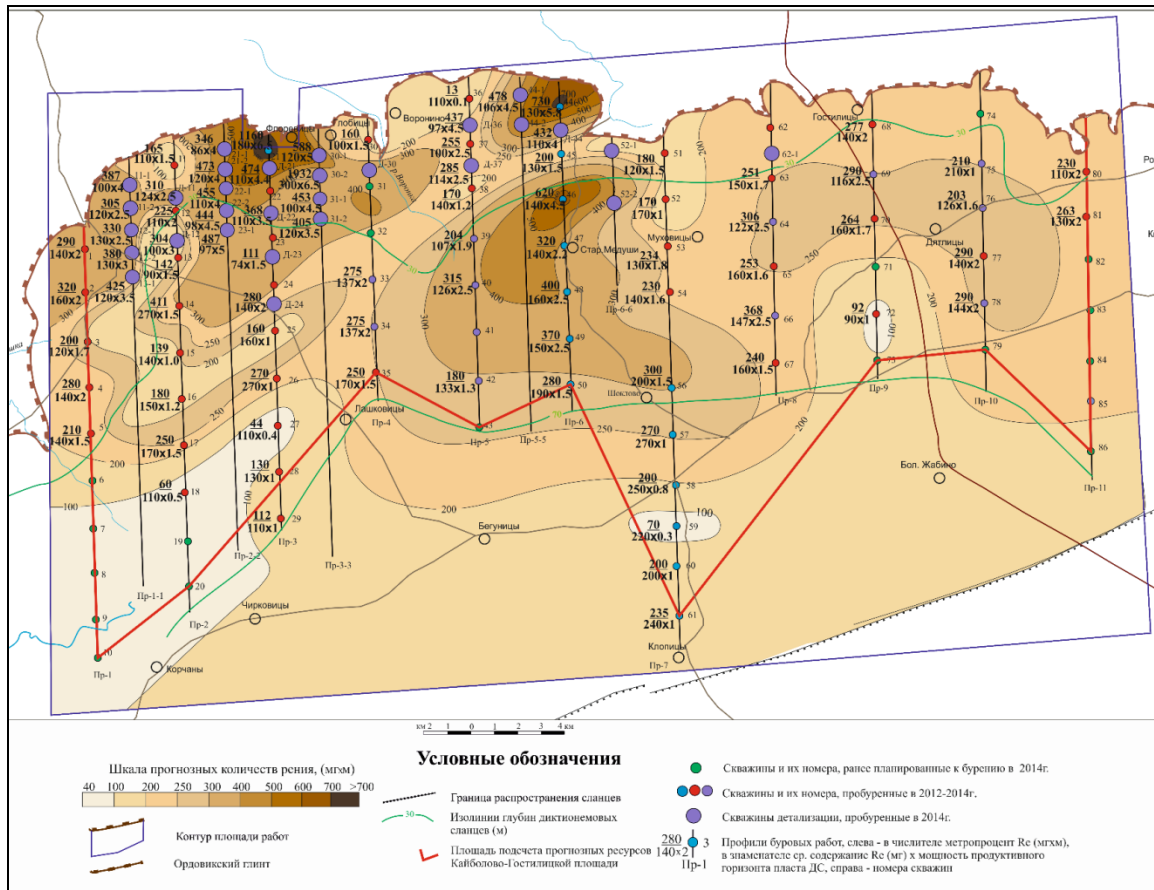


Рис. 1. Карта прогнозных количеств рения в продуктивном горизонте пласта диктионемовых сланцев Кайболово-Гостилицкой площади.

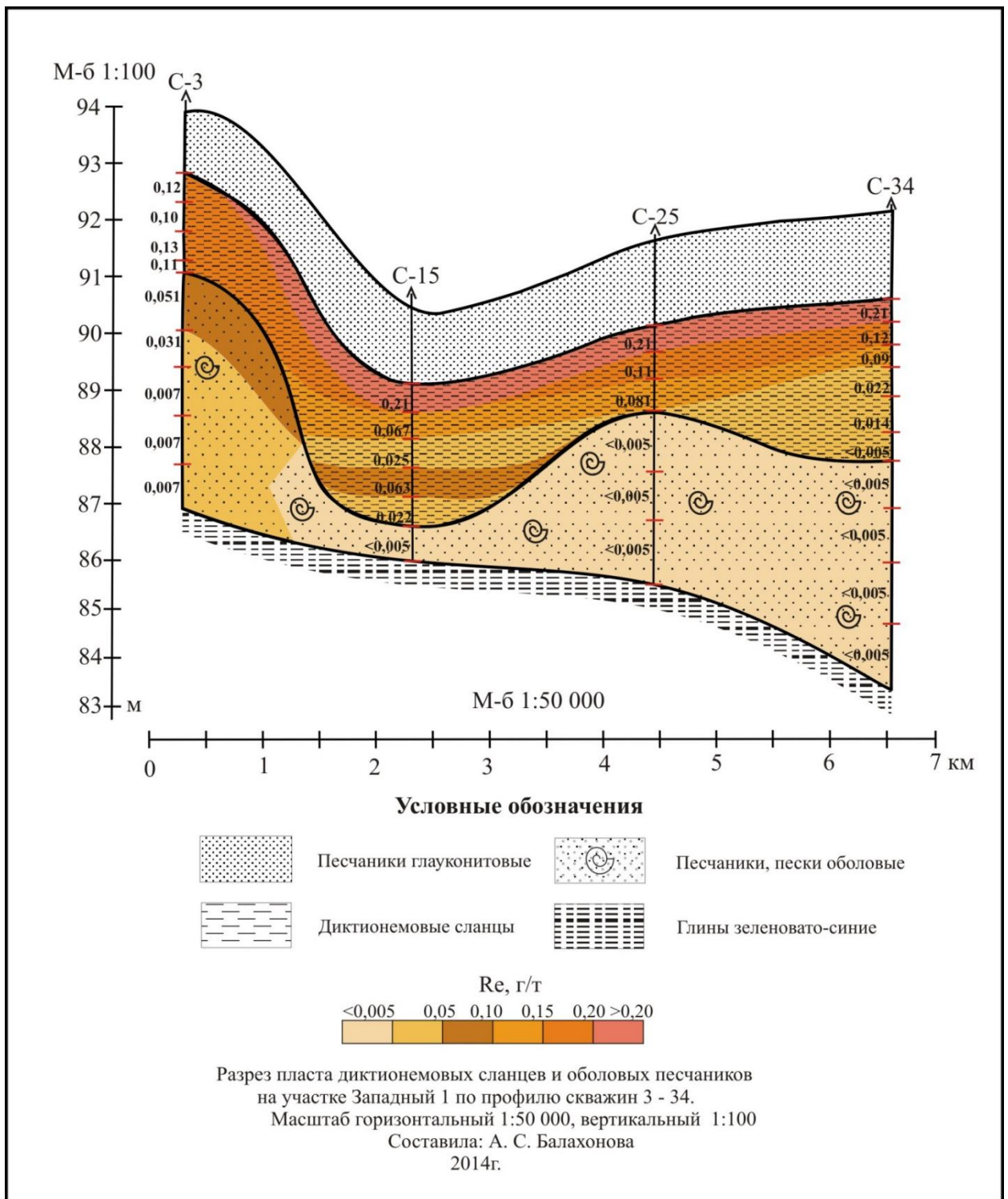


Рис. 2. Распределение и концентрации рения в разрезе пласта диктионемовых сланцев и оболовых песчаников по профилю скважин С-3 – С-34.

Общая потенциальная стоимость ожидаемых извлекаемых запасов рения в продуктивном горизонте пласта диктионемовых сланцев Кайболово-Гостилицкой площади составляет около 2,5 млрд руб. (табл. 1).

**Геолого-экономическая стоимостная оценка промышленного оруденения продуктивного горизонта пласта диктионемовых сланцев на рений Кайболово-Гостилицкой площади**

Показатели продуктивного горизонта пласта диктионемовых сланцев	Ед. изм.	Значения показателей
		Вся площадь (кат. P <sub>2</sub> -P <sub>1</sub> )
Средние содержания рения	г/т	0,14
Прогнозные ресурсы рения	т	427,3
Принимаемый коэффициент перевода прогнозных ресурсов рения в промышленные запасы*	доли ед.	0,6
Ки рения	доли ед.	0,25
Извлекаемые промышленные запасы рения	т	64,1
Цена рения	руб/г	96
Потенциальная стоимость извлекаемых промышленных запасов рения	млн руб.	6153,1
Примерная доля промышленных запасов рассмотренных ПИ в стоимости первого товарного продукта	доли ед.	0,4
Товарная (продажная) стоимость прогнозных ресурсов рассмотренных ПИ	млн руб.	2461,25

\*- [3].

Из табл. 1 видно, что средние содержания рения отвечают уровню богатых руд [3], а рассчитанное количество прогнозных ресурсов и ожидаемых извлекаемых промышленных запасов позволяют ожидать открытия крупного месторождения, поскольку месторождения редких металлов обычно относятся к «рядам быстрого насыщения» [2], т. е. характеризуются концентрацией запасов в единичных крупных месторождениях, а не распыляются по многочисленным мелким. Таким образом, новая нетрадиционная МСБ рения в диктионемовых сланцах может быть весьма значительной.

Помимо рения в диктионемовых сланцах также рассчитывались прогнозные ресурсы других ценных металлов, таких как МПГ, РЗЭ, уран, ванадий и т.д., концентрации которых превышают минимально промышленные содержания в несколько раз, а количество их прогнозных ресурсов позволяет рассматривать диктионемовые сланцы, как ценнейшее комплексное сырье на спектр разнообразных дефицитных металлов, потенциальная стоимость которых резко возрастает [1]. Проведенная оценка существующих технологических решений по извлечению рения из диктионемовых сланцев, показала возможность его извлечения до 75%. Важно отметить, что Прибалтийский бассейн располагается в благоприятных инфраструктурных условиях в Ленинградской области.

Таким образом, рениевое оруденение в диктионемовых сланцах Прибалтийского бассейна представляет собой новый перспективный геолого-промышленный тип оруденения, определяющий возможное создание на обширной территории Прибалтийского бассейна крупной нетрадиционной минерально-сырьевой базы рения.

### Литература

1. Балахонова А.С., Вялов В.И., Неженский И.А., Семенов Е.В. Геолого-экономическая оценка металлоносности диктионемовых сланцев и оболовых песчаников Прибалтийского бассейна // Региональная геология и металлогения, 2013, №56. С. 88–93.
2. Неженский И.А., Балахонова А.С.. Распределение месторождений полезных ископаемых России по запасам и добыче // Региональная геология и металлогения. 2011. № 45. С. 85–89.
3. Неженский И.А.. Вещественно-стоимостный анализ минерально-сырьевой базы России и мира. LAP LAMBERT Academ. Publishing, 2012. С. 132.

## **КУКЕРСИТЫ СРЕДНЕГО ОРДОВИКА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ – НЕТРАДИЦИОННЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ ИЛИ НЕФТЕГАЗМАТЕРИНСКИЕ ПОРОДЫ?**

*Остапенко Д. В.*

Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), г. Санкт-Петербург, Россия,  
e-mail: *ostapenko.dmitriy.petroleum@mail.ru*

**Работа посвящена исследованию вещественного состава и пористости горючих сланцев – кукерситов Ленинградской области. На основе анализа результатов изучения образцов кукерситов из карьера Алексеевский Ленинградской области, выполненных с помощью конфокальной микроскопии, рентгенофазового и микрорентгено-мографического анализа, а также опытов по прокаливанию образцов сланцев, сделан вывод о том, что кукерситы обладают нефтегазоматеринским потенциалом и в тоже время могут быть нетрадиционными породами-коллекторами для углеводородов.**

## **KUKERSITY OF THE MIDDLE ORDOVICIAN OF THE LENINGRAD REGION – UNCONVENTIONAL COLLECTORS OR PARENT ROCK OF OIL AND GAS?**

*Ostapenko D.V.*

Saint Petersburg State University (SPbU), Saint Petersburg, Russia, e-mail: *ostapenko.dmitriy.petroleum@mail.ru*

**The work is devoted to the study of the material composition and porosity shale of Leningrad region called kukersit. Based on the analysis results of the samples of kukersit from career Alexeevsky Leningrad region, performed by confocal microscopy, x-ray and mikro x-ray tomography and calcination, concluded that kukersity have parent potential and at the same time can be unconventional reservoir rocks for hydrocarbons.**

### **Введение**

**Цель:** определение возможности горючих сланцев Ленинградской области выступать в качестве нефтегазоматеринской породы и/или нетрадиционного коллектора для углеводородов.

### **Задачи:**

1. Изучение минерального состава образцов горючих сланцев;
2. Изучение распределения и доли органического вещества в образцах пород;
3. Изучение пустотного пространства и определение значений коэффициента открытой пористости.

### **Горючие сланцы Ленинградской области – нефтегазоматеринские породы и/или породы-коллекторы для углеводородов?**

Объектом практических исследований стали горючие сланцы-кукерситы Прибалтийского сланценосного бассейна (рис. 1).

В основу данной работы легла классификация американских геологов, содержащая основные правила выделения сланцевых плеев:

Первый – содержание глиен. Содержание глиен в сланцах не должно превышать 50%, иначе сланец будет подвержен пластичным деформациям, а значит, не сможет образовывать трещин в результате гидроразрыва, которые являются основными путями миграции газа;

Второй – количество органического вещества должно превышать 1%, чтобы генерировать промышленные углеводородные скопления;

Третий – пористость должна составлять не менее 3%, для того чтобы сланец содержал достаточные для разработки объёмы углеводородов.



Рис. 1. Прибалтийский сланцевый бассейн [по В.Р. Клер].

Образцы, в количестве 6 штук, были отобраны в Алексеевском карьере, который расположен в Прибалтийском сланцевом бассейне Ленинградской области.

#### Конфокальная микроскопия

Для того чтобы решить первые две задачи, были проведены исследования с помощью конфокального микроскопа и рентгенофазового анализатора.

Конфокальный микроскоп позволяет получить изображение флюоресцирующих объектов в теле образцов. В результате, можно видеть, что доля флюоресцирующих объектов в образце значительна (рис. 2), и, можно предположить, что во многом благодаря органическому веществу.

Далее было необходимо определить состав флюоресцирующей части образца и тёмной, не обладающей свечением части.

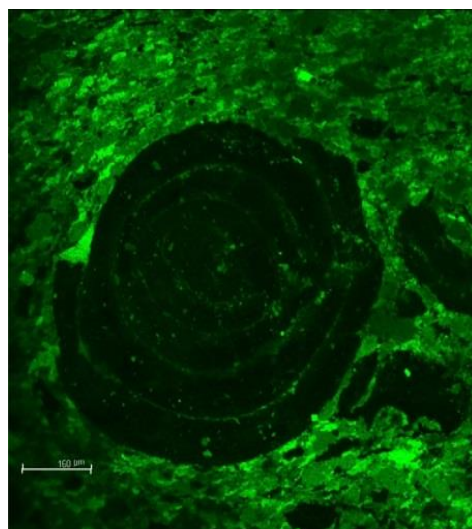
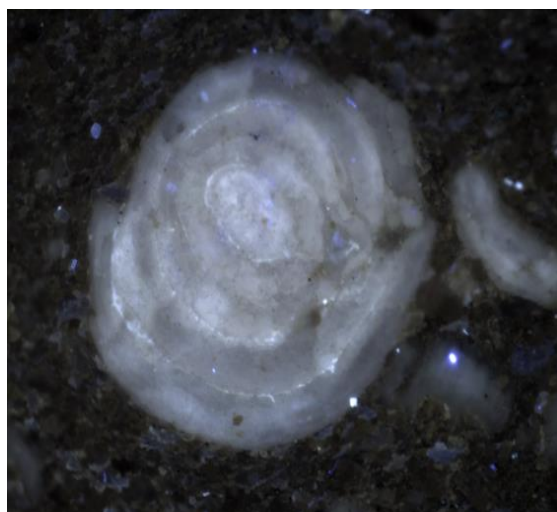


Рис. 2. Фотографии образца кукерситов №1 в КФМ.

## Рентгенофазовый анализ методом порошка

Для определения состава был проведён рентгенофазовый анализ методом порошка для двух порошков, состоящих из флюоресцирующих и не обладающих флюоресценцией объектов образца. Назовём условно эти части white\_1 и brown\_2 соответственно.

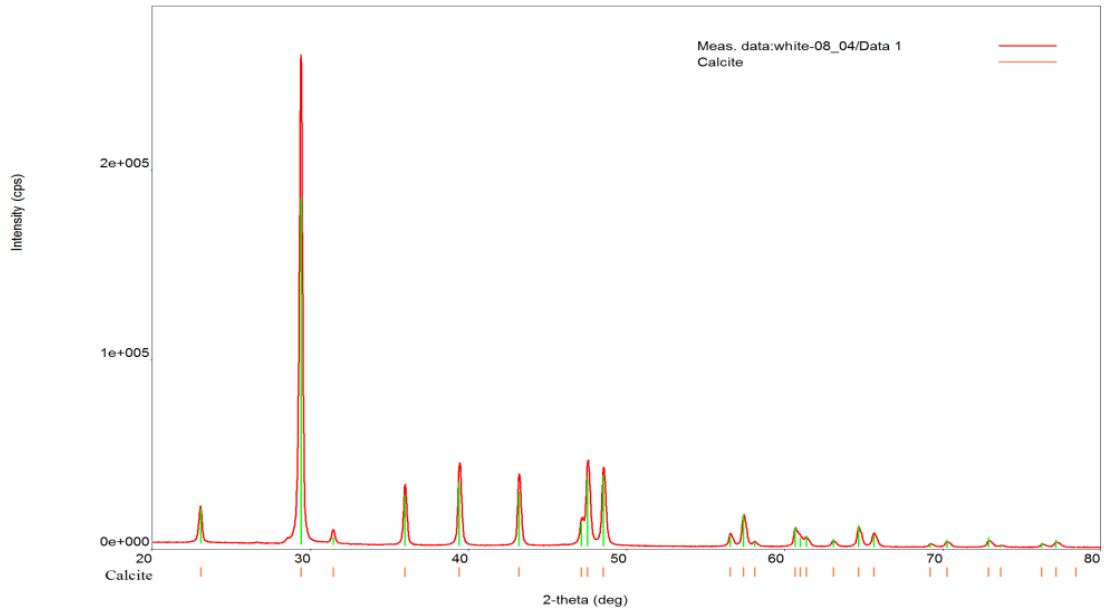


Рис. 3. Итоговый график рентгенофазового анализа образца white\_1.

Образец white\_1 является полностью кристаллическим, о чём свидетельствует отсутствие «холмообразных» скачков на графике (рис. 3). Пики показывают интенсивность отражённых лучей такую же, как и та, что соответствует интенсивности отражения от решётки кальцита. С точностью в 90% можно утверждать, что образец состоит из кальцита.

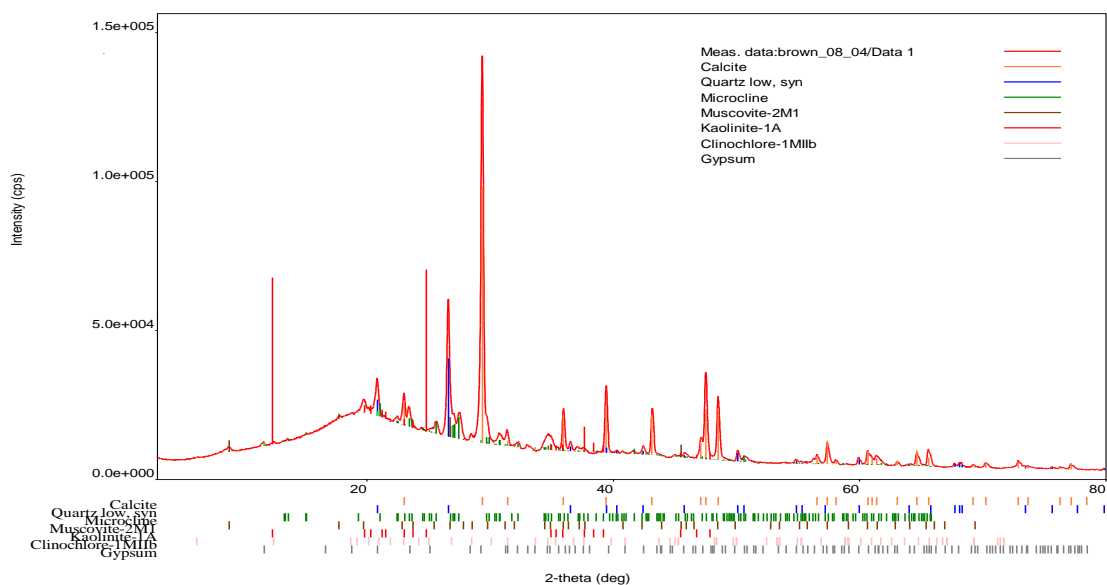


Рис. 4. Итоговый график исследования образца brown\_2.

На данном графике присутствует растянутый по оси углов дифракции «холмообразный» скачок, который свидетельствует о том, что в образце присутствует аморфная компонента (рис. 4). Выражена она не чем иным, как органическим веществом, так как отсутствуют какие либо другие компоненты, способные давать подобный «холмообразный» скачок (гидрокарбосиликаты кальция, натриевая селитра, цеолиты и т. д.) При интерпретации измерений, выяснилось, что в составе образца присутствуют кальцит, кварц, КПШ, мусковит и минералы группы каолинита и гипс.

Флюоресцирующая часть полностью соответствует образцу brown\_2.

### Прокаливание сланцев

В рамках данной работы был также проведён опыт по прокаливанию кукерситов при температурах 200°, 300°, 700° и 950° с целью определения примерного содержания углеродистого органического вещества. Основная потеря массы образца приходится на температурный интервал от 300 ° до 700° (25–27%), что соответствует температурам разрушения и улетучивания углеводородных соединений (рис. 5).

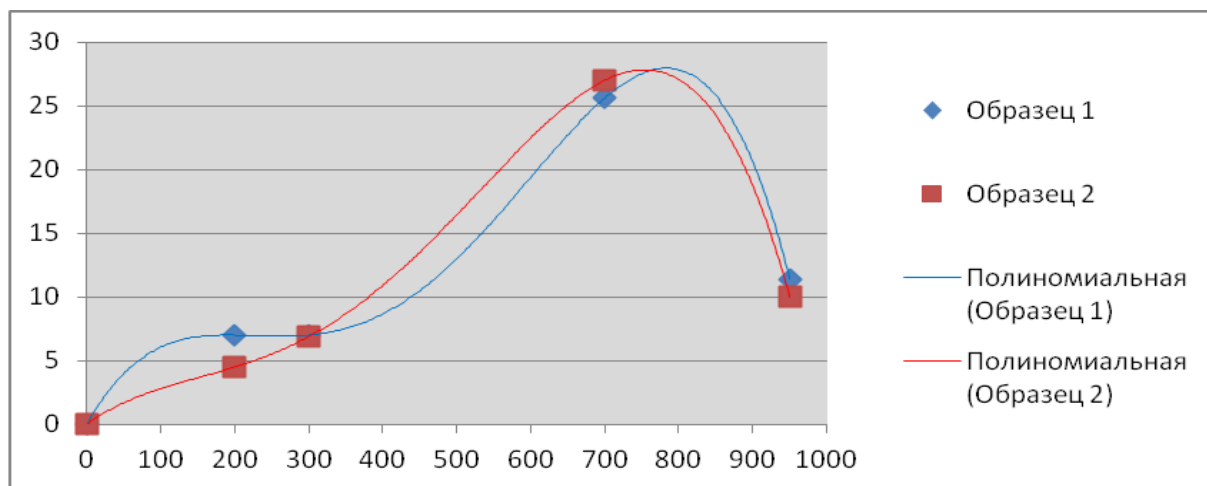


Рис. 5. Дифференциальные кривые потери массы образцов по температурным интервалам.

### Микрорентгеномографический анализ

Для решения задачи, связанной с определением порового пространства, был сделан микрорентгеномографический анализ образца горючих сланцев.

На фото (рис. 6) изображены срезы образцов кукерситов, полученные во время сканирования на приборе. Отчётливо видны поры и трещины в теле образцов (чёрным цветом внутри образца окрашено пустотное пространство).

Были проведены расчёты объёма порового пространства с помощью вычислительной программы CT Analyser, работающей с данными томографа, и по результатам исследований, объём общей пористости составляет 14.32933 %, открытая: 12.04529 %, закрытая: 2.59684 %.

### Выводы

Выполненные исследования горючих сланцев из карьера Алексеевский Ленинградской позволили установить, что согласно критериям выделения перспективных на углеводороды горючесланцевых толщ, используемых в США, кукерситы обладают нефтегазоматеринским потенциалом и, в тоже время, могут рассматриваться как нетрадиционные породы-коллекторы для углеводородов.



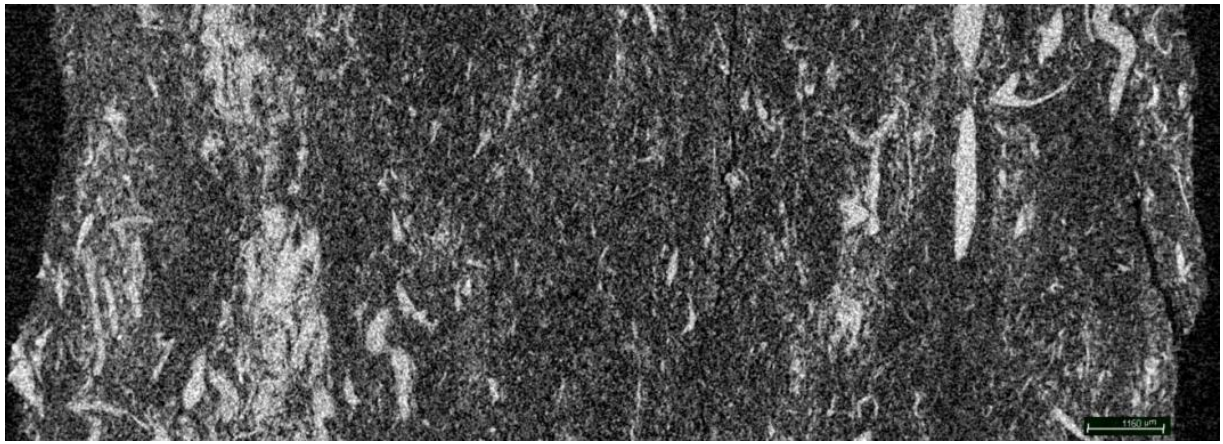


Рис. 6. Изображение среза образца кукерситов, полученное с помощью микротомографии (чёрным цветом внутри образца окрашено пустотное пространство).

Первый критерий – В случае кукерситов, содержание глинистых минералов не превышает 1/7 части минерального скелета образца, или 15%;

Второй критерий – В результате исследований, направленных на определение содержания органического вещества, получено, что количество органического вещества в образцах сланцев кукерситов варьирует в районе 20%;

Третий критерий – В результате исследования порового пространства получено, что объём общей пористости варьирует в районе 14%, тогда как объём открытых пор имеет значение, примерно 12%.

#### **Заключение**

В результате проделанной работы были получены данные о вещественном составе образцов, о доле в них органического вещества, что позволит в дальнейшем, уже более углубленно, касаться вопроса о потенциале российских сланцев, как источника высококачественных углеводородов.

#### **Литература**

1. Гинзбург И.А. Атлас петрографических типов горючих сланцев, Л.: «Недра» 1991 г.
2. Цветков Л.Д., Цветкова Н.Л. Библиографический обзор: сланцевые углеводороды, Ярославль: «Недра», 2012 г.
3. Вадецкий Ю.В. Бурение нефтяных и газовых скважин: учебник для нач. проф. образования, М.: «Академия», 2013 г.
4. Соловьёв В.О., Фык И.М., Варавина Е.П. Нетрадиционные источники углеводородов: проблемы освоения, Харьков, НТУ «ХПИ», 2013 г.
5. Жарков А.М. Оценка потенциала сланцевых углеводородов России, Экономика и управление №3, 2011г.
6. Бойер Ч., Кларк Б., Йохен В. Сланцевый газ – глобальный ресурс., Нефтегазовое обозрение, 2011 г., № 3.
7. Строение сланценосной толщи Прибалтийского бассейна горючих сланцев – кукерситов, Таллин: «Валгус», 1986 г.
8. Дмитриевский А.Н., Высоцкий В.И. Сланцевый газ – новый вектор развития мирового рынка углеводородного сырья, Вестник ОНЗ РАН (т. 2), 2010 г.
9. Горшкова О.М., Пацаева С.В., Федосеева Е.В. и др. Флюоресценция растворённого органического вещества природной воды, Издание «Вода: химия и экология № 11, 2009.
10. Покрепин Б.В. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин: учебное пособие для СПО, Волгоград: «Ин-Фолио», 2011 г.
11. Кузнецов Д.Т. Энергохимическое использование горючих сланцев; М.: 1978 г.
12. BP Statistical Review of World Energy, August 2014.

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ В ПРОДУКТАХ ПЕРЕРАБОТКИ ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КВАНТОРП**

*Фадин Я.Ю.*

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ФГУП «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: *Slavaf4@yandex.ru*

**Изучение поведения химических элементов, находящихся в состоянии рассеяния, может стать важной составляющей геохимических методов поиска месторождений полезных ископаемых, а применение новых нанотехнологических методов их извлечения из горных пород и руд позволит увеличить запасы металлов за счет снижения бортовых содержаний.**

## **THE DISTRIBUTION OF NANOPARTICLES IN PRODUCTS PROCESSING BLACK SHALE DEPOSITS KVANTORP**

*Fadin Y.Y.*

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (FSUE «VSEGEI»), Saint Petersburg, Russia, e-mail: *Slavaf4@yandex.ru*

**Studying the behavior of chemical elements in the state of dispersion can be an important part of geochemical methods to search for mineral deposits, and the use of new nanotechnology methods of extraction of rocks and ores of metals will increase the reserves by reducing the cut-off grade.**

Значительная часть микроэлементов входит в состав минералов в качестве изоморфных примесей, замещая макрокомпоненты в кристаллической решетке. Некоторые из них накапливаются в газовой-жидких включениях, часть находится в коллоидно-дисперсной форме в поровом пространстве породы. Для ряда химических элементов состояние рассеяния является основным. Следует отметить, что химические элементы, находящиеся в сверхдисперсной форме, никогда прежде не рассматривали как самостоятельные при поиске месторождений редких и рассеянных элементов и не выделяли при обогащении руд. В то же время именно они являются наиболее подвижными и наиболее биоактивными в различных экосистемах и при биокосных взаимодействиях.

Очень важной характеристикой микрочастиц является их размер. В настоящее время существуют приборы для определения размеров наночастиц, функционирование которых основано на различных физических явлениях, в которых принимают участие сверхмалые частицы. Очень важное значение имеют оптические методы, в основе которых лежит рэлеевское светорассеяние микро и наномасштабных коллоидных частиц. Широко применяется аппаратура для нефелометрического, турбодиметрического, ультрамикроскопического, седиментационного анализа, а также фотонной корреляционной спектроскопии. Особое место отводится методам, основанным на эффекте Тиндаля с использованием освещения лазером объекта исследования. В последнее время появились приборы, позволяющие не только измерять размеры частиц, но и определять дисперсность полидисперсной системы и наблюдать поведение наночастиц в растворах в реальном времени эксперимента. Таким прибором является, например, «Nanosight LM-20». Принцип его действия основан на том, что облученные лазером наночастицы начинают светиться и на черном фоне монитора компьютера выглядят как яркие светящиеся точки разного размера, кото-

рые перемещаются в результате броуновского движения. Можно наблюдать их слипание – коагуляцию, другие процессы в растворе, происходящие непосредственно в процессе анализа. Автоматически проводится расчет размеров микрочастиц и дисперсности системы.

В данной работе исследовали размер частиц, выделенных во фракцию, растворимую в воде. Поскольку размер частиц этой фракции меньше 1 мкм, ее принято называть нано-фракцией исследуемой породы. В качестве объектов исследования были выбраны образцы черных сланцев и продукты их переработки, так называемые горелые (красные) сланцев месторождения Кванторп (Швеция).

Пробы сланцев предварительно дробились и истирались до стандартного размера частиц – 74 мкм. Истертые пробы заливали горячей деионизованной водой в соотношении проба:вода = 1:10, выдерживали в течение суток, полученный коллоидно-солевой раствор пропускали через мембранный фильтр, задерживающий частицы более 1 мкм. Растворы анализировали на универсальном лазерном экспресс - анализаторе распределения размеров частиц (лазерном гранулометре) HORIBA LA-950. Считается, что эта модель является одной из самых совершенных на мировом рынке лазерных анализаторов размеров частиц. Принцип работы прибора основан на рассеянии и детектировании отраженного/преломленного лазерного света, красного и синего спектров (650 и 405 нм).



Рис. 1. Анализатор размера частиц LA-950

Для измерения размеров частиц в диапазоне 0,01-3000 мкм прибор детектирует корреляцию между интенсивностью и углом рассеянного на частице света, а затем рассчитывает размер частицы на основе теории рассеяния Ми. Для проведения количественного расчета необходимо введение корреляционного параметра – коэффициента преломления, который является постоянной величиной (константой) для индивидуального соединения (например,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и т.д.). Поскольку молекулярный состав раствора нано-фракции неизвестен, а прилагаемый банк данных по коэффициентам преломления весьма скромнен, трудно было рассчитывать на всеобъемлющее исследование. Кроме того, концентрация вещества в растворе большинства исследованных проб оказалась слишком мала и была за пределом возможности прибора. Исключением оказались пробы горелых (красных) сланцев. По результатам предварительного анализа растворов методом ИСП-МС их растворы содержали частицы  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в довольно высокой концентрации, приводя-

щей к окрашиванию растворов в красноватый цвет. Поэтому был проведен анализ распределения частиц  $Fe_2O_3$  в растворе «красного» сланца, коэффициент преломления для которого известен. Полученный результат представлен на рис.2. Из представленного рисунка видно, что распределение частиц по размерам носит симметричный характер, средний размер частиц составляет 300 нм, но в растворе также присутствуют частицы как большего (до 1 мкм), так и меньшего (менее 100нм) размера.

## HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950

Sample Name	: 38047	Median Size	: 0.29656( $\mu$ m)
Transmittance(R)	: 89.8(%)	Mean Size	: 0.31372( $\mu$ m)
Transmittance(B)	: 66.5(%)	Std.Dev.	: 0.1274( $\mu$ m)
Circulation Speed	: OFF	Geo.Mean Size	: 0.2937( $\mu$ m)
Agitation Speed	: OFF	Geo.Std.Dev.	: 1.4324( $\mu$ m)
Ultra Sonic	: OFF	Mode Size	: 0.3127( $\mu$ m)
Form of Distribution	: Manual	Span	: OFF
Distribution Base	: Volume	Diameter on Cumulative %	: (2)10.00 (%) - 0.1947( $\mu$ m)
Material	:		: (5)50.00 (%) - 0.2966( $\mu$ m)
Source	: исходный		: (9)90.00 (%) - 0.4351( $\mu$ m)
Test or Assay. Number	:	Cumulative % on Diameter	:
Remarks 1	:		
Remarks 3	:		
Remarks 2	:		
Remarks 4	:		

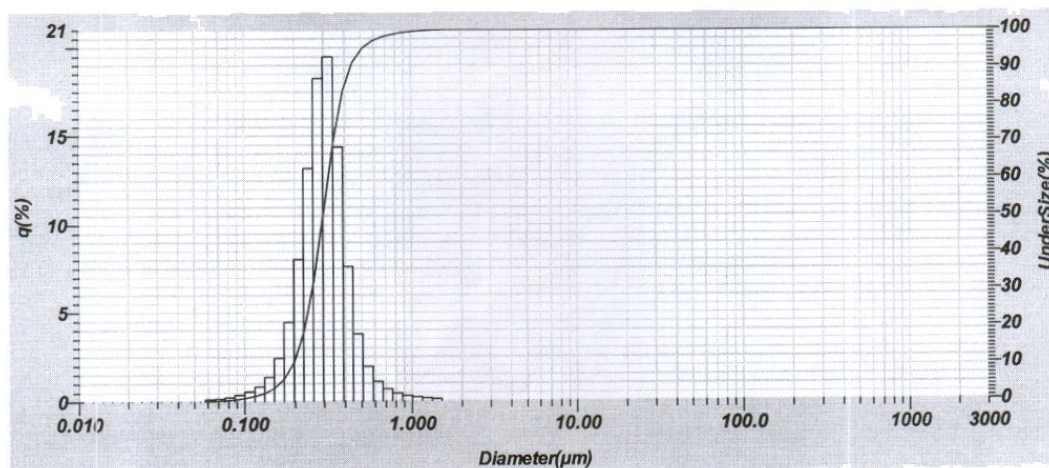


Рис. 2. Распределение частиц  $Fe_2O_3$  в нанодисперсии пробы горелого («красного») сланца.

Таким образом, данное исследование подтверждает тот факт, что горные породы содержат весь размерный спектр частиц, и самые маленькие из них – нанометрового размера – можно выделить с помощью водной экстракции. От того, в какой концентрации частицы различных химических элементов пробы находятся в столь дисперсной, а значит, в подвижной, форме, будет зависеть не только эффективность разрабатываемых геохимических методик, но и их воздействие на окружающую среду.

## РЕДКИЕ ЗЕМЛИ В БУРЫХ УГЛЯХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

*Чернышев А.А.*

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ФГУП «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: *Artem\_Chernyshev@vsegei.ru*

**Редкие земли являются одними из важных элементов, которые находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Их запасы сосредоточены, главным образом, в комплексных редкометальных рудах. Воспроизводство минерально-сырьевой базы редких металлов может быть значительно расширено с учетом нетрадиционного, но перспективного источника, каким являются бурые угли.**

## RARE EARTH IN BROWN COALS OF THE FAR EAST

*Chernyshev A.A.*

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (FSUE «VSEGEI»), Saint Petersburg, Russia, e-mail: *Artem\_Chernyshev@vsegei.ru*

**Rare earth is some of the important elements, which find wide application in various industries. Their stocks are concentrated mainly in complex rare metal ores. Reproduction of the mineral resource base of rare metals can be greatly expanded to meet unconventional but promising source, like brown coals.**

ВСЕГЕИ в течение 2012–2013 гг. произведено опробование угольных объектов Дальневосточного региона (Хабаровский край, Еврейская АО, Амурская область, Магаданская область): Хурмулинского, Лианского, Мухенского, Ушумунского, Ерковецкого, Вилигинского, Эльгенского, Ланковского бурогоугольных месторождений. Геохимические методы исследования включали в себя опробование – геохимические работы по дубликатам проб (отбор лабораторных навесок); уточняющее опробование – литогеохимические работы по канавам, разрезам (карьерам), горным выработкам, керну углей и пород, образцов каменных коллекций ФГУ «ТФИ по ДВФО», геолого-геохимическим профилям, и камеральную обработку материалов. Анализ металлов в углях производится современными инструментальными методами, такими как масс-спектрометрические на приборе ELAN 6100 DKC с индуктивно-связанной плазмой (ICP MS) (определение редкоземельных элементов, Au и элементов-спутников) и др.

Изученные бурогоугольные объекты обладают большими ресурсами редких и других ценных металлов. Достаточно указать, что только одни редкоземельные элементы (REE), установлены, на уровне количественных и промышленных концентраций (табл. 1).

На приведенной гистограмме видно, что преобладающая часть элементов-примесей превышают нормированный угольный кларк (рис. 1).

Особый интерес представляют редкоземельные элементы, поскольку в настоящее время они практически не извлекаются из недр, и актуально их изучение в возможных нетрадиционных источниках REE, какими могут являться угли в том числе. Как мы видим, из полученных данных, их содержания превышают кларк в 3 раз (табл. 2).

Таблица 1

## Среднее содержание металлов в золе и в угле, г/т

Месторождение	REE+Y в золе	Ge в угле	Sc в угле	Ga в угле	МПГ в угле	Rb <sub>2</sub> O в золе	Cs <sub>2</sub> O в золе	SrO в золе	ZrO <sub>2</sub> в золе	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в золе
Ерковецкое Зап. (n=7)	2174,8	2,5	5,2	9,6	-	60,9	4,7	1285,5	536,8	273,2
Ерковецкое Вост. (n=10)	1230,9	-	4,1	3,7	-	28,6	3,8	1845,8	298,5	411,5
Лианское (n=97)	623,2	3,4	5,2	5,3	0,053	104,3	14,5	2786,6	210,5	414,0
Хурмулинское (n=32)	1139,3	5,6	7,8	18,6	0,034	140,9	15,3	732,4	212,1	346,1
Мухенское (n=23)	272,8	-	7,0	10,7	-	140,1	15,4	781,2	294,3	445,9
Ушумунское (n=68)	430,1	5,7	9,6	16,5	-	123,4	26,4	420,1	434,4	280,3
Ланковское (n=5)	595,7	-	5,4	6,5	-	-	-	-	-	-
Эльгенское (n=30)	364,6	10	14,2	13,7	0,04	140,0	10,0	-	-	467,0
Вилигинское (n=15)	429,7	12,0	11,9	4,9	0,036	-	11,7	1549,2	-	687,2

Примечание: «-» – нет данных.



Рис. 1. Коэффициент накопления металлов в золе углей по отношению к угольному кларку, при КК = 1 (по Ketris, Yudovich, 2009).

Таблица 2

## Нормирование средних содержаний REE к угольному кларку

Месторождение	КК <sub>REE</sub> (по Ketris, Yudovich, 2009)
Лианское	1,8
Ерковецкое	2,0
Ушумунское	1,2
Мухенское	0,8
Хурмулинское	3,2
Ланковское	1,0
Эльгенское	1,0
Вилигинское	1,1

Опираясь на геохимические данные можно сказать, что на долю элементов цериевой группы приходится 76,4%, а на долю иттриевой группы – 23,6 %, а соотношение  $\Sigma$ Се

группы и  $\Sigma Y$  группы (рис. 2) расценивается как 3,2/1 для многих из перечисленных месторождений.

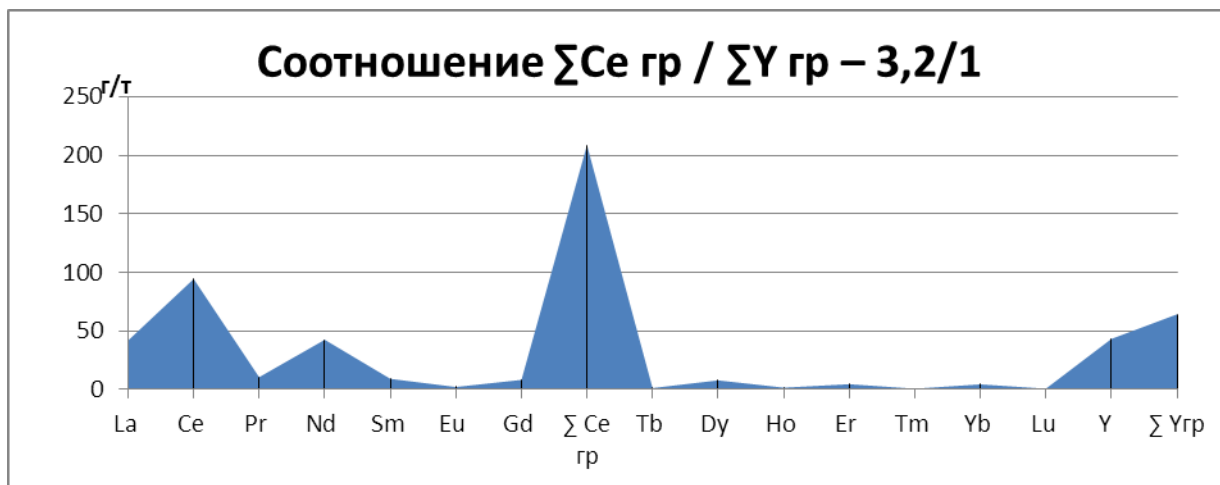


Рис. 2. Поэлементное количество REE в углях Дальнего Востока.

Дальневосточные угли характеризуются повышенной концентрацией редкоземельных элементов цериевой (легкой) группы, это говорит о наличии вблизи магматических пород, которые являются источником REE. Но так же, на некоторых объектах, прослеживается и накопление группы тяжелых редкоземельных элементов. Данные соотношения концентраций эрбиевых (тяжелых) редкоземельных элементов приведены на рис. 3. Данную диаграмму так же можно применить к группе цериевых (легких) и самариевых (средних) лантаноидов, поскольку процентное соотношение сильно не отличается.

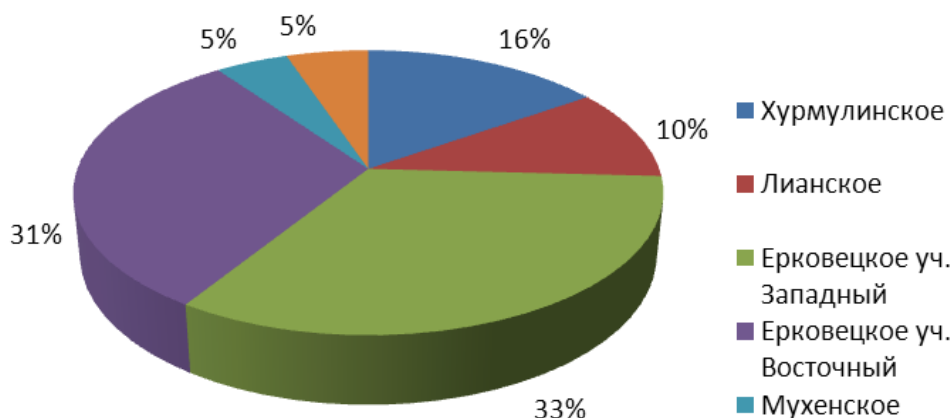


Рис. 3. Процентное соотношение тяжелой группы лантаноидов между бурогольными месторождениями.

Представления о форме нахождения REE в угольном веществе – а именно, в органической или минеральной части – имеет большое значение для прогнозирования концентраций REE в углях редкометалльно-угольных месторождений. В углях Дальнего Востока фиксируются значения, достигающие 4304,3 г/т (максимальные), 724 г/т (в среднем), при зольности в 16,2%.

Замечена тенденция увеличения содержания REE в углях с уменьшением зольности (рис. 4). Также характерны высокие содержания Be, Sc, V, Mo, W, что позволяет предполагать о преимущественном нахождении REE в органическом веществе.

Изучение распределения редкоземельных элементов, в разрезе пласта (рис. 5), показало, что проявлена вертикальная неоднородность содержания REE (с учетом Y). Уровни накопления были рассмотрены на примере Ушумунского месторождения.

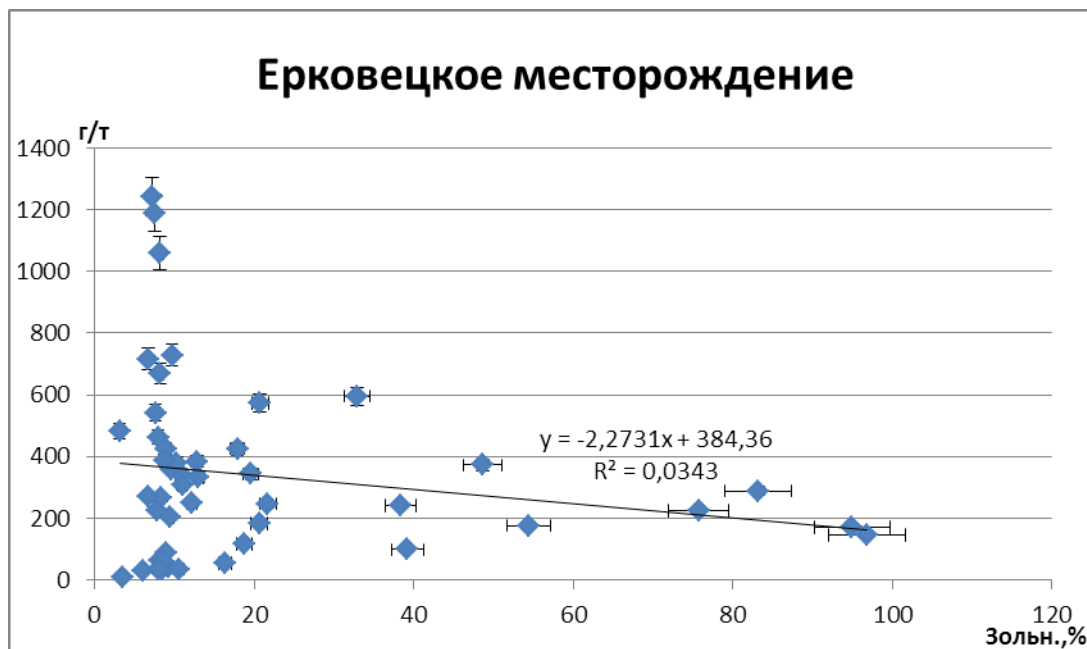


Рис. 4. График зависимости содержания REE+Y от зольности.

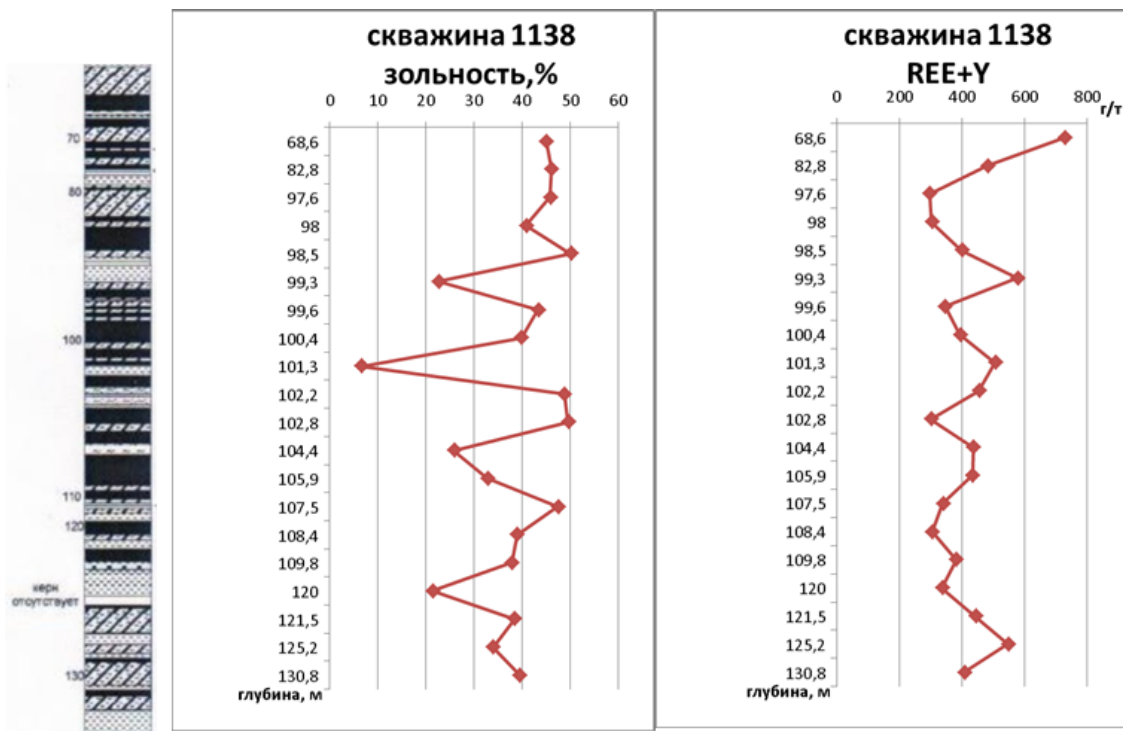


Рис. 5. Распределение содержаний редкоземельных элементов (в г/т угля) в вертикальном профиле скважины Ушумунского месторождения.



Геохимические данные показали, что для угленосной толщи характерно достаточно монотонное распределение элементов, со скачкообразным увеличением концентраций в верхней части скважины.

В результате уже проведенных исследований прогнозируется наличие новой нетрадиционной минерально-сырьевой базы REE в металлоносных буроугольных месторождениях Дальнего Востока.

Учитывая угольные запасы или прогнозные ресурсы указанных месторождений, и полученные концентрации REE, объем нетрадиционной МСБ REE в изученных углях получается весьма значительным.

## МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ НЕКОТОРЫХ КАЙНОЗОЙСКИХ УГЛЕЙ САХАЛИНА И КАМЧАТКИ

*Шушов Е.П.*

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского  
(ФГУП «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: *Evgeny\_Shishov@vsegei.ru*

**Представлены результаты исследований концентраций редких, благородных и цветных металлов в ряде кайнозойских месторождений бурых углей Сахалина и Камчатки. Определено, что содержания ряда указанных металлов в углях находятся на уровне минимально-промышленного (и выше) содержания в известных типах руд.**

## METAL CONTENTS OF SOME CENOZOIC COALS OF SAKHALIN AND KAMCHATKA

*Shishov E.P.*

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (FSUE «VSEGEI»), Saint Petersburg, Russia,  
e-mail: *Evgeny\_Shishov@vsegei.ru*

**The results from studying the rare, non-ferrous and precious metals in coals of some of Sakhalin and Kamchatka Cenozoic coal deposits are given. Based on the data we obtained were identified a number of rare metals, whose concentrations in coals are at the level of economic cut-off grades in the known ore types and even higher.**

За последние 25 лет использование молодых промышленных металлов, традиционно называемых «редкими», стремительно возросло, в т.ч. существенно вырос интерес к редкоземельным металлам. Рынок редких металлов за рубежом стремительно развивается, потребление некоторых редких металлов – стронция, циркония, редких земель – исчисляется сотнями тысяч тонн [2]. В этой связи важно выяснить особенности их содержания в геологических образованиях. Одним из крупнейших концентраторов редких и других элементов среди осадочных пород являются ископаемые угли, которые сами по себе являются ценным полезным ископаемым, а в совокупности с металлами представляют собой ценное комплексное сырье. Геохимия металлов в углях сложна вследствие многостадийной и многофакторной истории формирования угольных объектов, разнообразия составляющих уголь органических и минеральных веществ, сложности процессов взаимодействия металлов с органическим веществом углей в различных природных средах. Известно, что органическое вещество (ОВ) способно концентрировать металлы путем прямых химических взаимодействий, а ОВ углей выступать в качестве геохимического барьера для мигрирующих в растворах РМ. Современные аналитические методы существенно расширяют возможность изучения механизмов и форм локализации металлов в угольных месторождениях. Слабоизученными в отношении количественной оценки металлоносности оставались угольные месторождения Камчатки [3] и Сахалина.

Ниже приводятся результаты исследования концентраций и особенностей распределения редких и других ценных металлов в углях ряда месторождений Сахалина и Камчатки (таблица).

Геологическая история угольных месторождений Сахалина и Камчатки имеет общие черты, что отразилось в одинаковом возрасте угленосных отложений (миоцен), схожести

геологического строения изученных месторождений, марочного (Б, группы 2Б-3Б) и вещественного состава и свойств углей (мало и среднезольные, высококалорийные, с повышенным выходом летучих веществ, с повышенной сернистостью). Угли изученных месторождений обладают высокими теплотехническими свойствами и могут применяться в качестве топлива на котельных установках всех типов.

Изучение геохимических особенностей данных углей проведено по результатам масс-спектрометрического анализа более 150 проб углей и углистых пород, выполненного в ЦЛ ВСЕГЕИ. Пробы углей были отобраны непосредственно на угольных объектах и по дубликатам керновых проб в ходе проведения работ по объекту «Оценка новой нетрадиционной минерально-сырьевой базы редких металлов в металлоносных угольных месторождениях нераспределенного фонда недр Дальнего Востока», выполненного ВСЕГЕИ по государственному контракту с Дальнедра.

Положительная геохимическая специализация углей изученных месторождений представляет собой перечень элементов, с надкларковыми концентрациями [4]. Обработка аналитических данных показала, что металлы находятся в минимально-промышленных содержаниях в известных типах руд (германий) и в надкларковых (или повышенных) концентрациях. В углях Новиковского месторождения повышенными являются (здесь и далее – среднее содержание элемента в угле, либо золе в г/т): Y (75 в золе), Cr (804 в угле), W (59 в золе), Ni (56 в угле), Sb (3 в угле), Cs (16,8 в золе), Rb (120 в золе), Cu (31,1 в угле). Ряд элементов образует в углях Новиковского месторождения околоскларковые концентрации: Y, Be, Sc, Er, Eu, Co, Ge, V, Zn, Sr, Li, Sm, Dy, Nb, Ga, Zr, Pr, Yb, Tb, Ce. Нижескларковые концентрации в углях Новиковского месторождения установлены для Nd, La, Ta, Pb, Ho, Gd, Lu, Hf, Th, Tu, Au, Ag, U, Pd, Re.

Таблица

#### Характеристика изученных угольных месторождений Сахалина и Камчатки

Месторождение	Возраст угленосных отложений	Содержание металлов (от-до/среднее)	Количество рабочих пластов	Запасы угля	Степень освоения
Новиковское: уч. Восточный; Резервный участок Новиковского разреза (Тонино-Анивский п-ов Сахалина)	N <sub>1</sub> vd <sub>1</sub>	Sc в угле (2,43 - <b>14,9</b> / 6,34) Ge в угле (0,30 - 11,6/ 2,59); Mo в золе (3,76 - <b>715,0</b> / <b>99,39</b> ) TR в золе (172,54 - <b>483,17</b> /309,83)	2	Восточный А+В+С1 0,49 млн т Резервный А+В+С1 4,307 млн т	Участки месторождения доступны к обработке открытым способом
Корфское (Олюторский район Камчатки)	N <sub>1</sub> kr	TR в золе (56,46 - <b>1314,7</b> / 302,38) V в золе (93,4- <b>3010</b> /442,28) Pd в угле (<0,002- <b>0,084</b> / <b>0,03</b> )	4	А+В+С1 – 10,645 млн т. Забалансовые - 74,295 млн т. P1 – 15,0 млн т. P2+P3 – 450,0 млн т.	Месторождение доступно к обработке открытым способом
Эчваямское (Олюторский район Камчатки)	N <sub>1</sub> md	Li в угле (34,2 - <b>120,0</b> / <b>75,06</b> ) Sc в угле (24,20 - <b>30,80</b> / <b>27,85</b> ) TR в золе (106,91 - <b>513,69</b> / 210,81) Pd в угле (0,0021- <b>0,037</b> / <b>0,0138</b> )	2	С <sub>1</sub> – 1,689 млн т. P <sub>1</sub> – 1,541 млн т.	Пригодно для разработки открытым способом

В углях Корфского месторождения промышленных содержаний установлены Y, Pd, Yb: 302,4; 0,03 и 8,5 г/т соответственно. Повышенные содержания отмечены для Ag (0,4 в угле), V (442 в золе), Er (9 в золе), Sc (9 в угле), Cu (30 в угле). Околокларковыми концентрациями характеризуются Eu, Zr, Co, Tb, Dy, Lu, Sm, Mo, Ho, Ni, Pr, Nd, Cr. Такие элементы, как Gd, Hf, Li, Tu, Ce, Ga, Pb, La, Sr, Sb, Nb, Au, Be, W, Rb, Ge, Cs, Ta, Re в углях Корфского месторождения находятся в нижекларковых концентрациях.

Следующие элементы в углях Эчваямского месторождения установлены в промышленных концентрациях: Li (75 в угле), Sc (28 в угле), Y (99 в золе), Yb (9 г/т в золе), Pd (0,01 в угле). Повышенными (надкларковыми) концентрациями выделяются Cu (97 в угле), Ge (12 в угле), V (417 в золе), Co (12 в угле), Ni (21 в угле), Pb (9 в угле), Er (10 в золе). Околокларковыми концентрациями характеризуются Eu, Zr, Co, Tb, Dy, Lu, Sm, Mo, Ho, Ni, Pr, Nd, Cr. Такие металлы, как Gd, Hf, Li, Tu, Ce, Ga, Pb, La, Sr, Sb, Nb, Au, Be, W, Rb, Ge, Cs, Ta, Re - в концентрациях ниже кларка. Особого внимания заслуживает характер распределения редкоземельных металлов в эчваямских углях. Соотношение концентраций редких земель цериевой группы к редкоземельным металлам иттриевой группы ( $TR_{Ce}/TR_Y$ ) составляет 0,6, что принципиально отличается от такого соотношения в подавляющем большинстве известных месторождений TR в России и мире (редкие земли иттриевой группы являются дефицитными) и соответствует ионно-адсорбционным рудам (месторождения Jiangxi и Guangdong в Китае).

Корреляционный анализ позволил установить общие для углей всех изученных месторождений значимые связи между содержанием элементов в углях и их зольностью. Положительная связь наблюдается у Li, Ni, Zn, Ag, Pb, что указывает на определяющую роль терригенной составляющей углей в распределении данных металлов. Отрицательная связь с зольностью выявлена у Be, Sc, Ga, Ge, Cu, Cs, Tb, Gd, Sm, Y, Er, Lu - т.е. эти металлы тесно связаны с органической частью углей.

Факторный анализ выявил два фактора, называемые в литературе «зольным» (фактор 1) и «мацеральным» (фактор 2). Наивысшие положительные нагрузки «зольного» фактора установлены для Li, отрицательные – для Be, Y, Er, Lu. Наивысшие факторные нагрузки «мацерального» фактора связаны с Ge и Sc.

Статистическая обработка данных позволяет сделать вывод о том, что многие редкие и редкоземельные металлы в углях изученных месторождений тесно связаны с органической частью углей. Такие элементы, как Ge, Sc, а также лантаноиды имеют тенденцию накапливаться в органическом веществе углей.

Проведенные исследования по угольным объектам Сахалина и Камчатского края свидетельствуют об их высоком редкометалльном потенциале. Возможности и **перспективы промышленного извлечения** ряда металлов из углей и золы углей, а также опубликованные **результаты геолого-экономической оценки** этих месторождений [1], свидетельствующие о том, что организация попутного извлечения редких и ценных металлов из углей металлоносных угольных месторождений **существенно повышает экономическую эффективность их разработки**, делают очевидной целесообразность рассмотрения этих угольных месторождений, находящихся в нераспределенном фонде недр, как комплексных месторождений нового типа – **редкометалльно-угольных**, а не только как сырьевых источников угля. Особый интерес представляют Sc, как металл, не имеющий собственных промышленных месторождений, и редкие земли, которые, что было установлено, проявляют себя как углефильные элементы, обладая в угольном веществе несвойственным для большинства традиционных руд распределением.

## Литература

1. Неженский И.А., Вялов В.И., Мирхалевская Н.В., Шишов Е.П. Экономические показатели возможных вариантов разработки редкометалльно-угольных месторождений нераспределенного фонда недр Дальнего Востока // Регион. геология и металлогения. 2014. № 57. С. 95–101.
2. Редкие металлы на мировом рынке. Кн. 1. Металлы, имеющие собственные месторождения: бериллий, германий, литий, ниобий, редкоземельные металлы, стронций, тантал, цезий, цирконий// М.: ИМГРЭ, 2008. 197 с.
3. Шишов Е.П., Богомолов А.Х. Многоэлементная металлоносность Корфского и Эчаямского бурогоугольных месторождений (Камчатка)// Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2014. № 6.
4. Ketrin M.P., Yudovich Y.E. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals // Int. J. Coal Geol. 2009. Vol. 78. P. 135–148.

## ГАЗОГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УГЛЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

*Яцук А.В.<sup>1,2</sup>, Гресов А.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Федеральное государственное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия, [yatsuk@poi.dvo.ru](mailto:yatsuk@poi.dvo.ru)

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

**Представлены результаты геокриологических исследований и изучения газонасыщенности угольных бассейнов Северо-Востока России. Установлены основные региональные закономерности распределения углегазоносности и мерзлоты, изменчивость теплового и метанового потоков, газокриологическая зональность, состав газа и газопроницаемость угленосных формаций в зонах вечной мерзлоты.**

## PERMAFROST AND GAS CONDITION IN COAL-GAS-BEARING BASINS OF NORD-EAST OF RUSSIA

*Yatsuk A.I.<sup>1,2</sup>, Gresov A.I.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>V.I.Ilichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia, [yatsuk@poi.dvo.ru](mailto:yatsuk@poi.dvo.ru)

<sup>2</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok. Russia

**The results of cryological researches and study of gas presence in the coal basins of North-East Russia have been summarized and analyzed. The basic regularities of the distribution of natural gas and permafrost, changeability of heat and methane flows, gas cryological zonality, gas composition and gas permeability of coal formations in permafrost have been determined.**

Специфической особенностью Северо-Востока России является практически повсеместное развитие угленосных отложений в условиях распространения многолетней мерзлоты, занимающих более половины территории региона. Геокриологические условия угленосных осадочных бассейнов определяются сочетанием геолого-географических факторов, периодичностью, временем протаивания и промерзания пород в голоцене и плейстоцене. Большинство бассейнов характеризуются высокой газонасыщенностью угольных пластов и газонасыщенностью вмещающих пород, значительными ресурсами сорбированного, свободного и водорастворенного метана и по своей промышленной значимости относятся к *углегазоносным*. Газобезопасное и успешное развитие геологоразведочных и горных работ в регионе невозможно без анализа накопленного фактического материала исследований, выявления региональных закономерностей формирования газонасыщенности и мерзлоты и, прогнозирования их показателей в слабоизученных угленосных бассейнах. Важен и экологический аспект исследований – угленосные бассейны являются крупнейшими региональными источниками выбросов парниковых газов в атмосферу.

Территория Северо-Востока России по мощности, температурному режиму и сплошности распространения многолетнемерзлых пород подразделяется на Южную и Северную (СКЗ) криологические зоны, в пределах которых развиты площади с распространением сплошной, прерывистой и островной мерзлоты. Прерывистость мерзлоты определяется формированием таликов, приуроченных к долинам рек Лена, Алдан, Индигирка, Колыма, Анадырь и другим, крупным озерам и побережью морей. Расположение и основные пока-

затели мерзлоты и газоносности углегазоносных бассейнов приведены на рис. 1 и в таблице 1.

Исследованиями установлены основные закономерности распространения мерзлоты в углегазоносных бассейнах зоны криогенеза Северо-Востока России.

В общем развитии многолетней мерзлоты интенсивно проявляются а зональные особенности, независящие от географической широты местности и выражающиеся в резкой изменчивости температур мерзлых пород и их мощности на коротких расстояниях, связанной с повсеместным развитием в регионе углегазоносных формаций. Низкая теплопроводность и высокая теплоемкость газоносных угольных пластов – важнейшие факторы, оказывающие влияние на мощность мерзлоты и величину метанового потока. Показатели теплового и метанового потоков в углепородном массиве характеризуется резкой изменчивостью и максимальными значениями в кровле и почве угольных пластов, зонах тектонических нарушений и внедрения магматических образований.

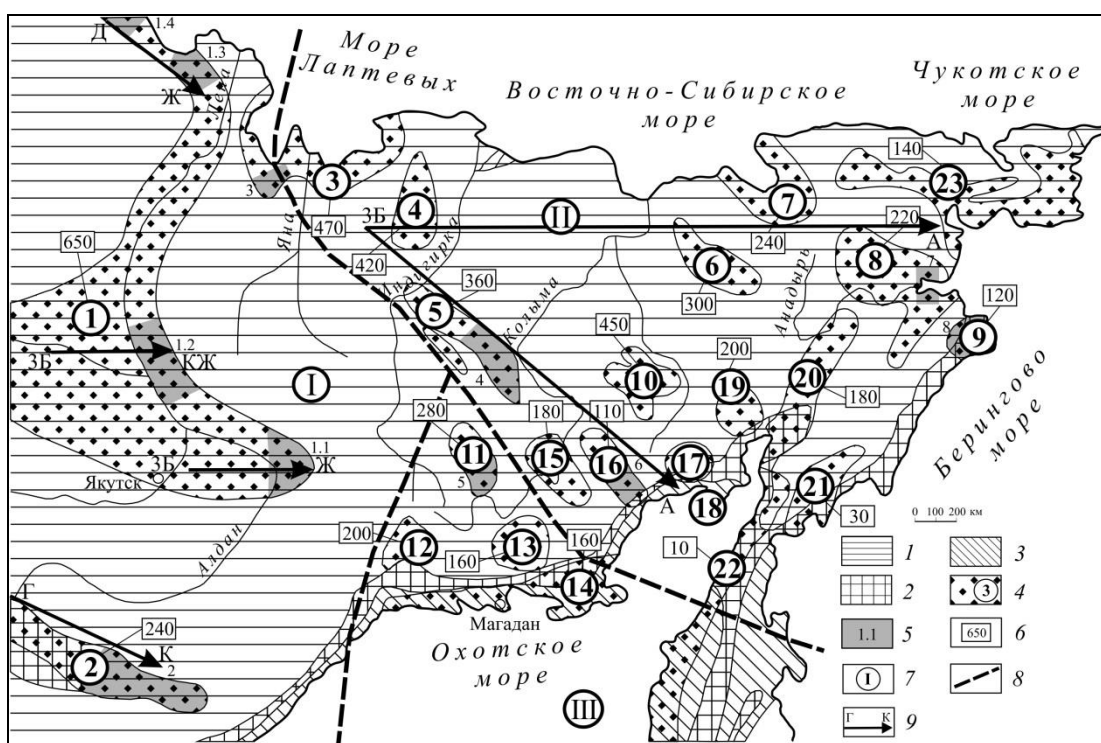


Рис. 1. Схематическая карта распространения многолетнемерзлых пород Северо-Востока России: **1-3** – площади распространения мерзлоты: 1 – сплошной, 2 – прерывистой, 3 – массивно островной; **4** – угольные бассейны: 1 – Ленский, 2 – Южно-Якутский, 3 – Лаптевско-Янский, 4 – Тастахский, 5 – Зырянский, 6 – Анюйский, 7 – Чаунский, 8 – Анадырский, 9 – Беринговский, 10 – Омолонский, 11 – Аркагалинский, 12 – Челомджинский, 13 – Хасынский, 14 – Охотский, 15 – Сеймчано-Буюндинский, 16 – Омсукчанский, 17 – Авековский, 18 – Тайгоносский, 19 – Пареньский, 20 – Пенжинский, 21 – Олюторский, 22 – Западно-Камчатский, 23 – Чаун-Чукотский; **5** – целые угленосные районы исследований: 1.1 – Нижне-Алданский, 1.2 – Сангарский, 1.3 – Оленекский, 1.4 – Анабаро-Хатангский; 2 – Алдано-Чульманский, Гонамский, Токинский, 3 – Куларский, 4 – Зыряно-Силапский, 5 – Нижне-Аркагалинский, 6 – Галимовский, 7 – Онеменский; **6** – абсолютные значения мощности многолетнемерзлых пород, м; **7** – литосферные плиты: I – Евразийская, II – Североамериканская, III – Охотоморская; **8** – границы литосферных плит; **9** – основные направления возрастания степени метаморфизма углей: ЗБ, Д, Г, Ж, КЖ, А – марочный состав угля.

**Газогеокриологические показатели основных угольных бассейнов Северо-Востока России [2]**

Угольный бассейн	Марка угля	Мощность мерзлоты, м	Температура пород*, °С	Геотермический градиент**, °С/100 м	Тип мерзлоты, прерывистость	Площадь талых пород, %	Метанонасыщенность пластов угля, м <sup>3</sup> /т
Ленский	ЗБ-КЖ	75-650	-2,8...-7,8	1,3-3,6 (2,6)	Сплошная	9	14-30
Лаптевско-Янский	2Б-ЗБ	170-470	-3,6...-10,2	1,4-4,6(3,1)	»	8	5-11
Зырянский	ЗБ-Т	60-360	-2,2...-6,5	1,5-4,3 (3,3)	»	9	20-29
Ануйский	Д, Т	80-300	-2,4...-7,0	1,5-4,4 (3,5)	»	10	18-27
Чаун-Чукотский	Т-А	50-50	-1,2...-3,0	2,4-3,7 (3,1)	»	12	15-18
Анадырский	ЗБ-Г	70-220	-2,4...-6,0	2,0-4,7 (3,5)	»	10	14-20
Пенжинский	ЗБ-Г	50-200	-1,2...-4,0	2,1-4,9 (3,7)	»	10	14-20
Омсукчанский	Т-А	50-110	-1,0...-2,8	2,5-3,7 (3,1)	»	11	15-18
Аркагалинский	Д-ГЖ	100-280	-1,2...-7,5	2,5-3,2 (2,9)	»	10	11-14
Беринговский	Д-КЖ	30-120	-1,0...-3,2	2,2-4,2 (3,3)	Прерывистая	25	18-24
Южно-Якутский	Г-К	20-240	-0,2...-3,0	1,9-4,3 (3,4)	»	45	16-21
Олюторский	ЗБ-Д	5-30	-0,1...-1,1	3,5-6,7 (5,9)	Островная	70	12-16
Западно-Камчатский	ЗБ-Г	5-15	-0,1...-0,7	4,8-9,0 (7,0)	»	85	11-17

\* Температура пород на подошве слоя.

\*\* Минимальное и максимальное значения, в скобках – среднее.

Смещение угленосности бассейнов в верхние стратиграфические горизонты по направлению к Тихому океану сопровождается переходом зоны сплошного распространения мерзлоты к прерывистой и массивно-островной с изменением мощности мерзлоты от 650–250 до 50–10 м, возрастанием степени метаморфизма углей, интенсивности развития газопроявлений и газонасыщенности угленосных толщ, тектонической нарушенности, сейсмичности и неотектонических процессов, магматизма и вулканизма, геотермического градиента, термального и термально-контактного метаморфизма углей, теплового и метанового потоков.

Криозона угольных бассейнов региона, по влиянию на распределение природных газов подразделяется на три основные подзоны: верхнюю газокриологическую подзону, среднюю и нижнюю. Экранирующее влияние мерзлоты благоприятствует формированию в угленосных отложениях газов полигенезисного состава и определяется газопроницаемостью верхней и нижней газокриологических подзон.

Перспективные для извлечения ресурсы метана, сконцентрированные в зонах «сухих» таликов в Ленском, Беринговском, Зырянском и др. бассейнах региона составляют 6,7 млрд м<sup>3</sup>. В случаях расположения гидростатического уровня выше нижней границы мерзлоты в ряде случаев наблюдается формирование мощного верхнего подмерзлотного газоводонасыщенного горизонта, с вскрытием которого связаны самоизлив подземных вод с интенсивным выделением свободного и водорастворённого газа. В зонах тектонических нарушений в сводовых частях антиклинальных складок (месторождения – Чечумское, Сангарское, Бухты Угольной и др.) отмечались выбросы воды и газа. В процессе исследований установлена высокая метанонасыщенность подземных вод верхнего подмерзлотного горизонта, составляющая 0,1–0,3 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> и более. Перспективные для извлечения ресурсы растворенного метана Ленского, Зырянского, Южно-Якутского, Беринговского и др. бас-



сейнов составляют 5 млрд м<sup>3</sup>. Всего перспективные для извлечения ресурсы свободного и водорастворенного метана (по состоянию геолого-газовой изученности на 01.01.2012 г.) составляют 12 млрд м<sup>3</sup> [1].

Геокриологические условия являются одним из основных факторов сохранения газоносности и формирования перспективных для извлечения ресурсов метана угольных бассейнов – крупнейших генерационно-аккумулятивных «хранилищ» метана и источников его выбросов в атмосферу Северо-Востока России.

### **Литература**

1. Гресов А.И. Метаноресурсная база угольных бассейнов Дальнего Востока России и перспективы её промышленного освоения. Том II. Углеметановые бассейны Республики Саха (Якутия) и Северо-Востока. Владивосток: Дальнаука, 2012. 424 с.
2. Гресов А.И., Обжиров А.И., Яцук А.В. Геоструктурные особенности распределения мерзлоты в углегазоносных бассейнах Северо-Востока России // Криосфера Земли. 2014, т. XVIII, № 1, с. 3–11.