

ПЕРСПЕКТИВЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЗАПАСОВ ШУНГИТОВ В КАРЕЛИИ



М. М. Филиппов,

главный научный сотрудник, д-р геол.-минерал. наук,
filipov@krc.karelia.ru



Ю. Е. Дейнес,

младший научный сотрудник

Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

Введение

Уникальность Онежской структуры заключается в масштабах накопления органического (шунгитового) вещества в пределах локальных структур. Молекулярная структура шунгитового вещества близка к структуре технических коксов из нефтяного сырья и некоторых видов стеклоглугерода. Благодаря этому шунгитоносные породы имеют значительную восстановительную способность, высокую электропроводность и могут применяться в качестве заменителя кокса, графита, металлов [1, 2]. Высокая дисперсность минерального и шунгитового вещества обеспечивает химическую стойкость пород в агрессивных средах [3]. В шунгитовом веществе возможно открытие новых структурных форм углерода и полезных свойств, которые позволят создать эффективные технологии практического использования пород, в частности в производстве фуллеренов и других нанокластеров углерода [4].

Оценка сырьевых ресурсов высокоуглеродистых пород

Для оценки сырьевых ресурсов максовитов и шунгитов* в принципе имеются достаточные основания: их строгая стратиграфическая приуроченность к первой и второй пачкам верхней подсвиты заонежской свиты, а также к телам купольного типа либо к локальным субпластовым телам и преимущественное развитие таких тел по второму и шестому горизонтам шунгитоносных пород. Общие ресурсы включают детально разведанные запасы по категориям А + В + С₁ и разведанные на стадии предварительной разведки по категории С₂, а также прогнозные ресурсы по категориям Р₁ – на участках вблизи месторождений, на которых выполнены поисково-оценочные работы без определения контуров тел и на основании стратиграфических и литологических критериев, а также с учетом представлений о генетическом

Рассмотрена проблема воспроизводства запасов высокоуглеродистых пород (шунгитов и максовитов) в Онежской структуре. На основе диапировой модели сделан вывод, что в центральной части Толвуйской структуры существуют залежи, сохранившиеся от эрозии, и потому существенно более крупные по запасам, чем известное Максовское месторождение. Предпосылками для обоснования послужили особенности геологического строения Толвуйской синклинали, теоретические представления о системе генетически связанных купольных структур, экспериментальные данные о параметрах системы, сформированной по шестому шунгитоносному горизонту верхней подсвиты заонежской свиты. Показано, что и в других синклиналичных структурах второго порядка высока вероятность открытия аналогичных месторождений.

Ключевые слова: Онежская структура, шунгиты, субпластовые тела, ресурсы.

DOI: 10.17580/gzh.2019.03.13

типе месторождений; Р₂ – основанные на результатах геологической съемки масштаба не меньше 1:50 000 и с учетом дополнительной информации, полученной при геофизических, геохимических и других наблюдениях; Р₃ – на основе геологической съемки среднего или мелкого масштаба по участкам, где имеются выходы максовитов и шунгитов либо есть скважины, вскрывшие такие породы.

На территории Онежской структуры (рис. 1) оценка ресурсов максовитов и шунгитов была выполнена в 1980-е годы по трем районам, а затем уточнена в работе [5]. В Западном районе (западный и северо-западный борты структуры) прогнозные ресурсы представлены главным образом запасами Сандальского участка: по категориям Р₁ и Р₂ 4 и 84 млн т соответственно. На нем буровыми скважинами выявлены горизонты шунгитоносных пород мощностью до 10 м, сложенные местами максовитами, содержащими С_{орг} до 45 %. На Спассогубском участке перспективы практического использования ресурсов невелики, поскольку они находятся в охранной зоне озер, санатория «Марциальные Воды», заповедника Кивач. Прогнозные ресурсы Кяппесельгского участка составляют 50 млн т (Р₃), они рассчитаны по данным опробования естественных обнажений пород и керн скважин, которые подсекли шунгиты и максовиты мощностью до 40 м и содержанием С_{орг} от 23,4 до 56 %. Заонежский район (большая часть Заонежского п-ва) до настоящего времени рассматривался в качестве основного по прогнозированным ресурсам. В его западной части, западнее губы Святуха, ресурсы по категории Р₃ оценены в 50 млн т; в центральной – между озерами Путкозеро, Падмозеро и дер. Великая Нива, по категории Р₂ – 200 млн т. В центральной части Толвуйской синклинали в 1985 г.

*Шунгиты – породы, содержащие от 45 до 80 % шунгитового вещества; имеют параллелепипедальную отдельность, пелитоморфные, напоминают антрацит; относятся к экструзивным сапробитумолитовым породам. Максовиты – породы этой же группы, содержащие от 10 до 45 % шунгитового вещества, плотные, пелитоморфные.

были утверждены запасы двух залежей: Максовской (категории $V+C_1+C_2 - 33,4$ млн т.) и Зажогинской (4,9 млн т.), а также оценены ресурсы Калейской залежи (категория $P_1+P_2 - 10$ млн т) и Мельничной залежи – 10 млн т [5]; в юго-восточной части – между с. Великая Губа, дер. Великая Нива, озерами Керацкое, Яндомозеро, по категориям $P_1+P_2 - 200$ млн т. На восточном берегу Онежского озера, в районе слияния рек Пажа и Кочкома, ресурсы по категории P_3 составляют 50 млн т.

Эти объемы высокоуглеродистых пород, казалось бы, должны подтверждать вполне благоприятные перспективы восполнения запасов. В основе приведенных расчетов, кроме запасов Толвуйского участка, была принята методика, используемая для *стратиформных* месторождений, т. е. не опирающаяся на генетические особенности известных месторождений купольного (Максовского) и субпластового (Шуньгского) типов. Однако современные данные о геологии Онежской структуры и результаты исследования генезиса высокоуглеродистых пород и их месторождений свидетельствуют о том, что используемый ранее подход к оценке прогнозных ресурсов максовитов и шунгитов необходимо в корне пересмотреть. Ниже приведено обоснование новой методики прогноза ресурсов шунгитов и максовитов на территории Онежской структуры.

Модель формирования месторождений максовитов и шунгитов и оценка прогнозных ресурсов на территории Толвуйской синклинали

В Институте геологии Карельского научного центра РАН разработана диапировая модель формирования месторождений, основанная на представлении о регулярности развития подобных структур в синклиналиях второго порядка. Модель создана с учетом современных представлений о диапировой тектонике, изложенных в ряде работ [5–13]. Исходя из этого, выбирали участки синклиналичных структур, в пределах которых необходимо было выявить признаки структур третьего порядка и купольных тел максовского типа, выходящих под четвертичные отложения. Структуры третьего порядка выделяли путем анализа имеющейся в архивах геолого-геофизической информации (отчеты ККГРЭ, НПО «Невскгеология», ИГ КарНЦ РАН), а также сбора полевых материалов с использованием геофизических методов. Выходы максовитов и шунгитов под четвертичные отложения выявляли преимущественно методом измерения естественных электрических потенциалов (метод ЕП). На основе этой модели в Институте геологии КарНЦ РАН геофизическими методами выявлены вероятные участки размещения ранее неизвестных куполов максовского типа (Мироновское месторождение, Толвуйский Бор, Домашняя и Алексеевская залежи); уточнены контуры Калейского месторождения; определены места наиболее вероятного нахождения других залежей, развитых по второму и шестому горизонтам шунгитоносных пород (рис. 2).

Учитывая эти данные и допуская, что залежи, расположенные в центре структуры, по объему сопоставимы с Максовским месторождением (до 30 млн т), а на ее периферии – до 10 млн т, ресурсы центральных залежей составят около 150 млн т, для периферийных – до 60 млн т. Эти ресурсы можно увеличить, если допустить, что по второму горизонту шунгитоносных пород

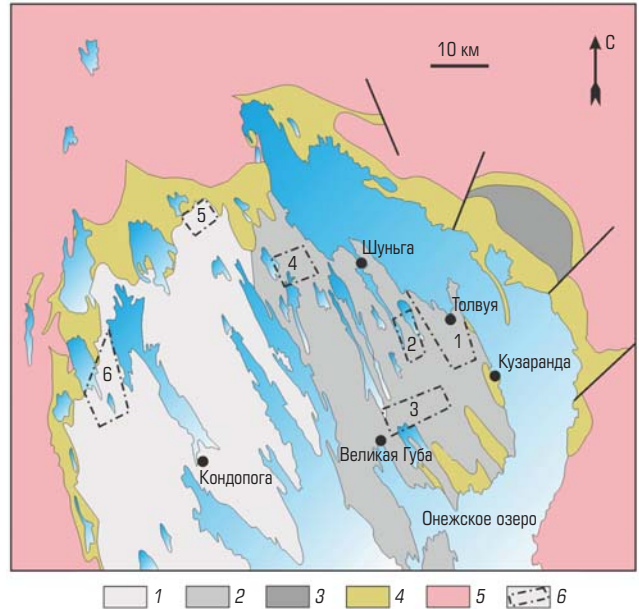


Рис. 1. Схема размещения участков, перспективных для поисков месторождений максовитов и шунгитов (не указаны участки с известными проявлениями максовитов и шунгитов, попадающие в охранные зоны):
Область развития пород заонежской свиты: 1, 2, 3 – Западный, Заонежский и Восточный районы соответственно; 4, 5 – ятулийские и джотулийские образования; 6 – границы и номера перспективных участков (1 – Толвуйский, 2 – Фоймогубский, 3 – Керацко-Яндомозерский, 4 – Мягрозерский, 5 – Кяппесельский, 6 – Сандальский)

первой пачки купольные залежи формировались аналогично и по всей площади структуры. Конечно, эти ресурсы труднее перевести в запасы по категории C_2 , поскольку часть из залежей можно разрабатывать лишь подземным способом. Кроме того, разработка Максовского и Зажогинского месторождений регулярно вызывает дискуссию о целесообразности этих работ на территории Заонежского п-ва, поскольку, по мнению местного населения и природоохранительных организаций, это нарушает экологию района и ограничивает использование земель сельскохозяйственного назначения. Вне сельскохозяйственных территорий в Толвуйской синклинали к залежам, разработка которых могла бы осуществляться, можно отнести Залебяжскую, Полежаевскую, Клешовскую, Толвуйский Бор с суммарными прогнозными ресурсами около 100 млн т. Среди названных залежей лишь Клешовская по прогнозным ресурсам и генетическому типу сопоставима с Максовским месторождением, при этом ее разработка возможна открытым способом. На других залежах требуется проведение целевых исследований технологических свойств пород: содержание углерода, минеральный состав, обогатимость, физические свойства, включая структурное состояние углерода.

Прогноз ресурсов на территории других синклиналичных структур

Помимо Толвуйской синклинали, наиболее перспективными являются Хмельозерская и Мягрозерская. Диапировая модель

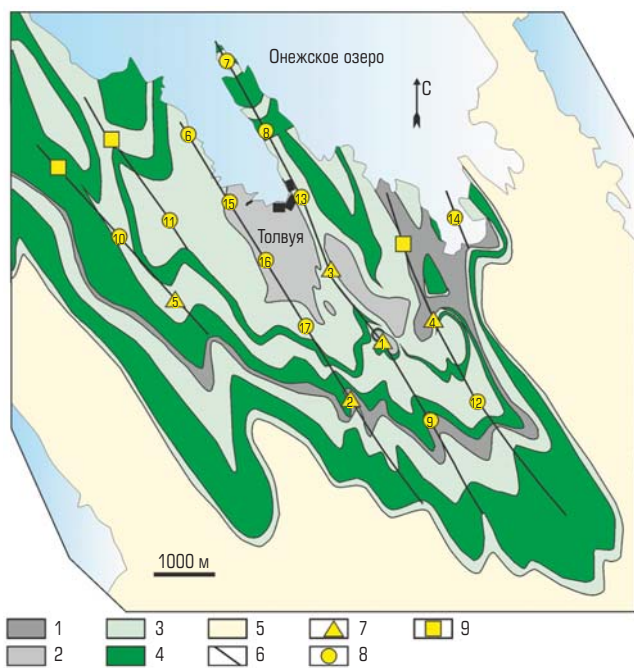


Рис. 2. Расположение известных и предполагаемых залежей максовитов, сформированных по горизонтам второй пачки верхней подсвиты заонежской свиты Толвуйской синклинали:

1 – шунгитоносные породы 6-го горизонта; 2 – хемогенно-осадочные породы; 3 – вулканогенно-осадочные породы; 4 – габбро-долериты; 5 – подстилающие породы, в том числе шунгитоносные; 6 – оси антиклинальных складок третьего порядка (валы); 7 – разведанные залежи: 1 – Максовская, 2 – Забогинская, 3 – Мельничная, 4 – Калейская, 5 – Мироновская; 8 – залежи, предполагаемые по данным геолого-геофизического картирования: 6 – Подсосонье, 7 – Карнаволок, 8 – Красная горка, 9 – Горушка, 10 – Толвуйский бор, 11 – Домашняя, 12 – Алексеевская, 13 – Толвуйская, 14 – Часовенская, 15 – Андриановская, 16 – Огоровцы, 17 – Романовцы; 9 – залежи, предполагаемые по данным моделирования

позволяет прогнозировать открытие на территории этих структур и купольных, и субпластовых тел максовитов и шунгитов, которые вследствие своей локальности и высокого содержания углерода могут оказаться экономически наиболее выгодными для разработки. Хмельозерская синклинали имеет некоторые особенности, отличающие ее от Толвуйской структуры: она более погружена по разломам (зонам складчато-разрывных дислокаций), поэтому в ее центральной части картируются лавы суйсарской свиты; в ней большую площадь занимают габбро-долериты верхнего силла заонежской свиты; в тектоническом отношении структура более нарушена. По этим причинам для поисков месторождений максовитов и шунгитов, выходящих под четвертичные отложения, потенциально могут служить борта структуры в пределах блоков, не затронутых складчато-разрывными дислокациями и не подверженных метасоматическим процессам, а также северо-западное и юго-восточное замыкания структуры. В восточном борту Хмельозерской структуры были изучены участок

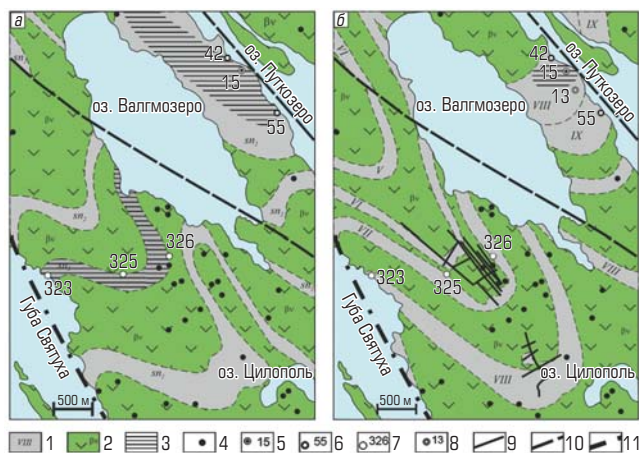


Рис. 3. Геологическая карта-схема участков Шуньга-1 и Шуньга-2:

а – по данным ПГО «Невскгеология», б – предлагаемый вариант; 1 – шунгитоносные горизонты и их номера; 2 – габбро-долериты; 3 – участки с повышенной радиоактивностью; 4 – естественные обнажения; 5–8 – скважины и их номера: 5 – треста «Шунгит», 1932 г., 6 – ПГО «Севзапгеология», 1969 г., 7 – ПГО «Невскгеология», 1982 г., 8 – проекта FAR-DEEP, 2007 г.; 9 – геофизические профили; 10 – предполагаемые тектонические нарушения; 11 – восточная граница Космозерской зоны складчато-разрывных дислокаций

Ботвинщина – шунгитоносные горизонты первой пачки; участки Рассвет, Шильтя, Малая Шильтя, Якорь Лядина, Палтега-1, 2, Шуньга-2, Яндомозеро, Кижы – шунгитоносные горизонты второй пачки верхней подсвиты заонежской свиты. Большая часть участков находится на заболоченной территории, т. е. в ближайшей перспективе не будет возможности для их разработки. В ряде случаев, как и в Толвуйской синклинали, разработка залежей возможна лишь шахтным способом. При выборе участков для ведения оценочных работ необходимо также учитывать большое число озер на территории Онежской структуры (водоохранные зоны).

Перспективными районами для ведения поисковых работ, по мнению авторов, являются северо-западные и юго-восточные замыкания синклинали структур второго порядка. Ниже в качестве примера приведены материалы изучения участка Шуньга-2, расположенного в северо-западном замыкании Хмельозерской структуры на водоразделе оз. Валгмозеро и Губы Святуха (рис. 3). На карте ПГО «Невскгеология» (см. рис. 3, а) впервые в северо-западном замыкании Хмельозерской синклинали четко показаны структуры третьего порядка. До 1997 г. Шуньгское месторождение в структурном отношении рассматривалось как крыло синклинали складки. Более поздние геолого-геофизические исследования показали, что предположение Н. И. Рябова (1933 г.) о вероятном продолжении промышленных пластов, вплоть до восточного берега оз. Валгмозеро, имеет веские основания. Это позволило сформулировать тезис, что разведанная часть месторождения приурочена к северо-восточному крылу антиклинальной складки третьего порядка, шарнир которой на уровне залегания пластов частично размыт. В 2016 г. для исследований был выбран участок, расположенный между Губой

Святуха (на западе), оз. Валгмозеро (на востоке), оз. Цилополь (на юге) и дер. Лахново (на севере), которому было присвоено наименование Шуньга-2.

По данным работ ПГО «Невскгеология», участок сложен породами верхней подсвиты заонежской свиты (см. рис. 3, а), а в структурном отношении – это антиклиналь третьего порядка. На участке есть большие по площади естественные обнажения габбро-долеритов, а на его южном окончании – выходы шунгитоносных туфоалевролитов. Участок привлекателен тем, что на нем предполагаемые купольные залежи максовитов, частично шунгитов, не эродированы и залегают либо непосредственно под четвертичными отложениями, либо перекрыты протерозойскими породами небольшой мощности. Эти условия являются благоприятными для использования хорошо зарекомендовавшего метода измерения естественных электрических потенциалов (ЕП), позволяющего с высокой надежностью фиксировать выходы шунгитоносных пород под четвертичные отложения.

На карте ПГО «Невскгеология» (см. рис. 3, а) в верхней подсвите шунгитоносные горизонты не выделены, как это сделано геологами ПГО «Севзапгеология» для Толвуйской синклинали. Показанная на рисунке штриховка на участке Шуньга-1 фиксирует широкую по площади аномалию радиоактивности, которая известна для восьмого шунгитоносного горизонта (для шунгит-лидид-доломитового комплекса, который в работах геологов ПГО «Невскгеология» называется нижним «специализированным» маркирующим горизонтом). Слой шунгитоносных пород, вскрытый скважинами 325 и 326 отмечен как маркирующий горизонт [14]. При внимательном же просмотре всех архивных материалов становится ясно, что скважины 325 и 326 вскрыли седьмой горизонт. Из рис. 3, а следует, что длина сохранившейся антиклинали третьего порядка существенно больше 1,75 км – характерного расстояния между соседними купольными структурами, находящимися на одном валу, полученного для Толвуйской синклинали. На этом основании было высказано предположение, что на участке Шуньга-2 существуют перспективы обнаружения двух купольных структур.

При изучении участка сначала решали задачу выявления границ шунгитоносных горизонтов, их идентификации, положения шарнира антиклинальной складки. Работы были проведены в северной части участка в районе буровых скважин 325 и 326 (условное название участка Крестная Гора), а также в южной части (Цилополе). По сети наблюдений были выполнены геофизические измерения методом ЕП и магниторазведка, построен план изолиний разности потенциалов ЕП, на котором хорошо выделяются две отрицательные аномальные зоны до 1000 мВ на участке Крестная Гора (рис. 4) и одна отрицательная аномальная зона на участке Цилополе, которые, предположительно, связаны с шестым, седьмым и восьмым шунгитоносными горизонтами соответственно. Геологические данные прошлых лет по участкам Шуньга-1 и Шуньга-2, а также полученные геофизические материалы позволяют предложить новую геологическую карту-схему участков (см. рис. 3, б). На ней отчетливо выделяются шарниры антиклинальных складок, в частности, проходящий через центры участков Крестная Гора и Цилополе, указаны горизонты шунгитоносных пород (пятый – девятый), а небольшая отрицательная

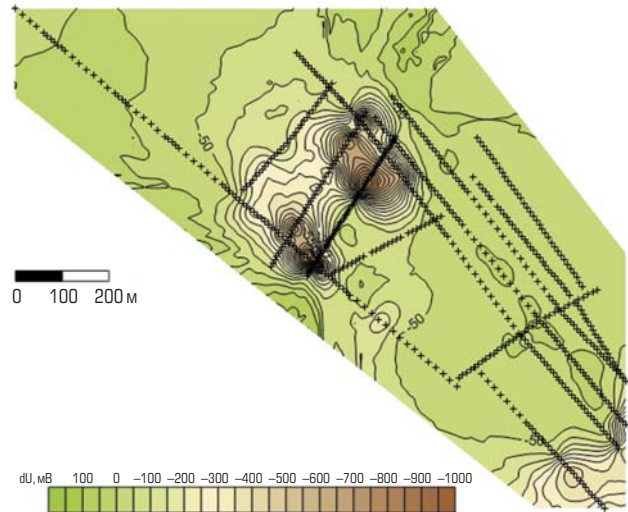


Рис. 4. План изолиний разности потенциалов естественного электрического поля на участке Крестная Гора

аномалия округлой формы на участке Цилополе, по мнению авторов, фиксирует выход под четвертичные отложения апикальной части купольной структуры, развитой по шестому горизонту. Расстояние между центром этой аномалии и центром аномальной зоны, связанной с шестым горизонтом на участке Крестная Гора, можно рассматривать в качестве ведущей длины волны системы купольных структур Хмельозерской синклинали. Это расстояние составило 1,8 км, т. е. практически равно значению, известному как длина волны для Толвуйской синклинали. На участке Цилополе аномальную зону с северо-запада по дуге обрамляют габбро-долериты, что указывает на присутствие в разрезе купольного тела (структурный и геоморфологический признаки).

Разрез участка Крестная Гора через скважины 325 и 326 ПГО «Невскгеология» был построен без учета ими же полученных геофизических данных. Геофизические наблюдения, включая метод ЕП и данные бурения скважин 325 и 326, позволяют предложить новый вариант разреза для центральной части участка Крестная Гора, т. е. обосновать наличие в разрезе крупного купольного тела высокоуглеродистых пород с прогнозными ресурсами около 30 млн т. Приведенные результаты исследования являются основанием для постановки разведочных работ на участках Крестная Гора и Цилополе и могут служить подтверждением тезиса о хороших перспективах воспроизводства запасов высокоуглеродистых пород на территории Онежской структуры и методологической основой для выбора участков, перспективных на открытие крупных залежей шунгитов.

Выводы

Онежская структура уникальна по масштабам накопления органического вещества в пределах локальных структур. Строгая стратиграфическая приуроченность шунгитоносных пород к первой и второй пачкам верхней подсвиты заонежской свиты, а также к телам купольного либо субпластового типа и преимущественное развитие таких тел по второму и шестому горизонтам шунгитоносных пород позволяют оценить их сырьевые ресурсы.

В качестве основного по прогнозируемым ресурсам рассматривается Заонежский район. По новой методике прогноза ресурсов шунгитов и максовитов, приведенной в статье, выделено несколько участков. Ресурсы центральных залежей Толвуйской синклинали составят около 150 млн т, для периферийных – до 60 млн т. Вне сельскохозяйственных территорий в Толвуйской синклинали к залежам, разработка которых могла бы осуществляться, можно отнести Залебязскую, Полежаевскую, Клешовскую, Толвуйский Бор с суммарными прогнозируемыми ресурсами около 100 млн т.

Помимо Толвуйской синклинали, наиболее перспективными являются Хмельозерская и Мягрозерская синклинали. Диапировая модель позволяет прогнозировать открытие на территории этих структур и купольных, и субпластовых тел максовитов и шунгитов, которые вследствие своей локальности и высокого содержания углерода могут оказаться экономически наиболее выгодными для разработки. Перспективными районами для ведения поисковых работ являются северо-западные и юго-восточные замыкания этих синклиналей.

Библиографический список

1. Антонец И. В., Голубев Е. А., Шавров В. Г., Щеглов В. И. Влияние структурных параметров шунгита на его электропроводящие свойства // Журнал радиоэлектроники. 2017. № 5. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/may17/11/text.pdf> (дата обращения: 15.04.2018).
2. Попов В. А., Румянцев Д. В., Цымбулов Л. Б. Применение шунгита в металлургии цветных металлов // Цветные металлы и минералы : сб. тез. докл. Восьмого междунар. конгресса. – Красноярск : Научно-инновационный центр, 2017. С. 412–413.
3. Прут Э. В., Кузнецова О. П., Соломатин Д. В., Укк М. В. Влияние дисперсной фазы на реологические и механические свойства дисперсно-наполненных композитов // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Химия. 2016. № 2. С. 13–20.
4. Тюльнин В. А. Композиционные материалы на основе высокодисперсных шунгитовых пород // Горный журнал. 2015. № 2. С. 72–75. DOI: 10.17580/gzh.2015.02.14
5. Минерально-сырьевая база Республики Карелия / под ред. В. П. Михайлова, В. Н. Аминова. – Петрозаводск : Карелия, 2006. Кн. 2. Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. – 356 с.
6. Филиппов М. М. Шунгитоносные породы Онежской структуры. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2002. – 282 с.
7. Zanella A., Cobbold P. R., Le Carlier de Veslud C. Physical modelling of chemical compaction, overpressure development, hydraulic fracturing and thrust detachments in organic-rich source rock // Marine and Petroleum Geology. 2014. Vol. 55. P. 262–274.

8. Codegone G., Festa A., Dilek Y. Formation of Taconic mélanges and broken formations in the Hamburg Klippe, Central Appalachian Orogenic Belt, Eastern Pennsylvania // Tectonophysics. 2012. Vol. 568-569. P. 215–229.
9. Levis J. C., Byrne N. Deformation and diagenesis in an ancient mud diapir, Southwest Japan // Geology. 1996. Vol. 24. No. 4. P. 303–306.
10. Pierre F. D., Festa A., Irace A. Interaction of tectonic, sedimentary, and diapiric processes in the origin of chaotic sediments: An example from the Messinian of Torino Hill (Tertiary Piedmont Basin, Northwestern Italy) // The Geological Society of America Bulletin. 2007. Vol. 119. No. 9–10. P. 1107–1119.
11. Melezhik V. A., Prave A. R., Hanski E. J., Fallick A. E., Lepland A. et al. Reading the Archive of Earth's Oxygenation. – Berlin : Springer-Verlag, 2013. Vol. 3: Global Events and the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. – 519 p.
12. Martin A. P., Prave A. R., Condon D. J., Lepland A., Fallick A. E. et al. Multiple Palaeoproterozoic carbon burial episodes and excursions // Earth and Planetary Science Letters. 2015. Vol. 424. P. 226–236.
13. Weber F., Gauthier-Lafaye F., Whitechurch H., Ulrich M., Albani A. The 2-Ga Eburnean Orogeny in Gabon and the opening of the Francevillian intracratonic basins: A review // Comptes Rendus Geoscience. 2016. Vol. 348. Iss. 8. P. 572–586.
14. Филиппов М. М., Есипенко О. А. Геолого-геофизические маркирующие горизонты палеопротерозоя Онежской структуры. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2016. – 257 с. **PK**

«GORNYI ZHURNAL», 2019, № 3, pp. 66–70
DOI: 10.17580/gzh.2019.03.13

Prospects for reproduction of shungite reserves in Karelia

Information about authors

M. M. Filippov¹, Chief Researcher, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences, filipov@krc.karelia.ru
Yu. E. Deines¹, Junior Researcher

¹Institute of Geology, Karelian Research Center, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Karelia

Abstract

The problem of reproduction of reserves of high carbon rocks (shungites and maksovitites) in the Onega structure is considered. Based on the diapir model, it was concluded that in the central part of the Tolvuya structure there are deposits that have been preserved from erosion, and therefore significantly larger in reserves than the well-known Maksovo deposit. The prerequisites for substantiation were the features of the geological structure of the Tolvuya syncline, theoretical ideas about the system of genetically related dome structures, experimental data on the parameters of the system formed along the sixth shungite-bearing horizon of the upper subformation of the Zaonega formation. It is shown that in other syndinal structures of the second order there is a high probability of discovery of similar deposits.

Keywords: Onega structure, shungite, sub-stratified deposits, resources.

References

1. Antonets I. V., Golubev E. A., Shavrov V. G., Shcheglov V. I. Influence of schungite structure parameters on its electro-conductivity properties. *Journal of Radio Electronics*. 2017. No. 5. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/may17/11/text.pdf> (accessed: 15.04.2018).
2. Popov V. A., Romyantsev D. V., Tsybulov L. B. Application of schungite in nonferrous metallurgy. *Non-ferrous Metals & Minerals : Book of Papers of the 9th International Congress*. Krasnoyarsk : Science and Innovation Center, 2017. pp. 412–413.

3. Prut E. V., Kuznetsova O. P., Solomatin D. V., Ukk M. V. Influence of disperse phase on rheological and mechanical properties of dispersed-filled composites. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Khimiya*. 2016. No. 2. pp. 13–20.
4. Tyulnin V. A. Ultra dispersed shungite composite materials. *Gornyi Zhurnal*. 2015. No. 2. pp. 72–75. DOI: 10.17580/gzh.2015.02.14
5. Mikhailov V. P., Aminov V. N. (Eds.). Mineral and raw material base of the Republic Karelia. Petrozavodsk : Kareliya, 2006. Book 2: Non-metallic mineral resources. Underground waters and medical muds. 356 p.
6. Filippov M. M. Shungite Rocks of the Onega Structure. Petrozavodsk : KarNTs RAN, 2002. 282 p.
7. Zanella A., Cobbold P. R., Le Carlier de Veslud C. Physical modelling of chemical compaction, overpressure development, hydraulic fracturing and thrust detachments in organic-rich source rock. *Marine and Petroleum Geology*. 2014. Vol. 55. pp. 262–274.
8. Codegone G., Festa A., Dilek Y. Formation of Taconic mélanges and broken formations in the Hamburg Klippe, Central Appalachian Orogenic Belt, Eastern Pennsylvania. *Tectonophysics*. 2012. Vol. 568-569. pp. 215–229.
9. Levis J. C., Byrne N. Deformation and diagenesis in an ancient mud diapir, Southwest Japan. *Geology*. 1996. Vol. 24, No. 4. pp. 303–306.
10. Pierre F. D., Festa A., Irace A. Interaction of tectonic, sedimentary, and diapiric processes in the origin of chaotic sediments: An example from the Messinian of Torino Hill (Tertiary Piedmont Basin, Northwestern Italy). *The Geological Society of America Bulletin*. 2007. Vol. 119, No. 9-10. pp. 1107–1119.
11. Melezhik V. A., Prave A. R., Hanski E. J., Fallick A. E., Lepland A. et al. Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Berlin : Springer-Verlag, 2013. Vol. 3: Global Events and the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. 519 p.
12. Martin A. P., Prave A. R., Condon D. J., Lepland A., Fallick A. E. et al. Multiple Palaeoproterozoic carbon burial episodes and excursions. *Earth and Planetary Science Letters*. 2015. Vol. 424. pp. 226–236.
13. Weber F., Gauthier-Lafaye F., Whitechurch H., Ulrich M., Albani A. The 2-Ga Eburnean Orogeny in Gabon and the opening of the Francevillian intracratonic basins: A review. *Comptes Rendus Geoscience*. 2016. Vol. 348, Iss. 8. pp. 572–586.
14. Filippov M. M., Esipenko O. A. Paleo-Proterozoic geologo-geophysical marking horizons of the Onega structure. Petrozavodsk : KarNTs RAN, 2016. 257 p.