



Конференция с международным участием
Шунгитовые породы Карелии
«Шунгит - 2020–2021»

29 июня — 1 июля 2021 г. • Петрозаводск



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ КарНЦ РАН
ООО «КАРЕЛЬСКАЯ ИНВЕСТИЦИОННАЯ КОМПАНИЯ «РБК»

**ШУНГИТОВЫЕ ПОРОДЫ КАРЕЛИИ:
ГЕОЛОГИЯ, СТРОЕНИЕ, ИННОВАЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ
«ШУНГИТ-2020–2021»**

Материалы конференции с международным участием

29 июня – 1 июля 2021 г., Петрозаводск

Петрозаводск
2021

УДК 552.57(063)+553.9(063)+620.22(063)(470.22)

ББК 26.3(2Рос.Кар)

Ш91

Отв. за выпуск:

В. В. Ковалевский, Ю. Е. Дейнес

Шунгитовые породы Карелии: геология, строение, инновационные материалы и технологии «Шунгит-2020–2021» : материалы конференции с международным участием. 29 июня – 1 июля 2021 г., Петрозаводск / отв. за вып. В. В. Ковалевский, Ю. Е. Дейнес. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2021. – 100 с.

УДК 552.57(063)+553.9(063)+620.22(063)(470.22)

ББК 26.3(2Рос.Кар)

ISBN 978-5-9274-0913-6

© Институт геологии КарНЦ РАН, 2021

© ФИЦ «Карельский научный центр РАН», 2021

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
DEPARTMENT OF EARTH SCIENCES, RAS
KARELIAN RESEARCH CENTRE,
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF GEOLOGY KRC RAS
LLC «KARELIAN INVESTMENT COMPANY «RBK»

**SHUNGITE ROCKS OF KARELIA:
GEOLOGY, STRUCTURE,
INNOVATIVE MATERIALS AND TECHNOLOGIES
«SHUNGITE-2020–2021»**

Materials of Conference with international participation

June 29 – July 1, 2021, Petrozavodsk

Petrozavodsk
2021

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

Светов Сергей Анатольевич – д.г.-м.н., директор ИГ КарНЦ РАН,
Петрозаводск

Заместители:

Ковалевский Владимир Викторович – д.г.-м.н., ИГ КарНЦ РАН,
Петрозаводск

Зубков Денис Геннадьевич – ООО «Карельская инвестицион-
ная компания «РБК», Петрозаводск

Секретарь:

Дейнес Юлия Евгеньевна – научный сотрудник ИГ КарНЦ РАН,
Петрозаводск

Организационная группа:

Алимпиев Сергей Вячеславович – ООО «Карельская инвести-
ционная компания «РБК», Петрозаводск

Карданова Яна Вячеславовна – ООО «Карельская инвестици-
онная компания «РБК», Петрозаводск

Кочнева Ирина Владимировна – ведущий инженер-технолог
ИГ КарНЦ РАН, Петрозаводск

Мошников Игорь Анатольевич – научный сотрудник ИГ КарНЦ
РАН, Петрозаводск

Первунина Аэлита Валериевна – к.г.-м.н., ИГ КарНЦ РАН,
Петрозаводск

Рожкова Виктория Сергеевна – ведущий химик ИГ КарНЦ РАН,
Петрозаводск

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Бобров Анатолий Павлович – к.т.н, РТУ-МИРЭА, Москва

Вольфсон Светослав Исаакович – д.т.н., КНИТУ, Казань

Голубев Евгений Александрович – д.г.-м.н., Институт геологии
им. Н. П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

Кириш Ирина Анатольевна – д.х.н., Московский государственный
университет пищевых производств, Москва

Коневский Михаил Романович – д.т.н., Политехнический университет, Санкт-Петербург

Котельникова Елена Николаевна – д.г.-м.н., СПбГУ, Санкт-Петербург

Кошиш Иван Иванович – академик РАН, Москва

Марин Юрий Борисович – чл.-корр. РАН, Санкт-Петербург

Машуков Василий Игоревич – к.т.н., СИБУР-Полилаб, Москва

Никонов Илья Николаевич – к.б.н., МВА им. К. И. Скрябина, Сергиев Посад

Новопольцева Оксана Михайловна – д.т.н., ВПИВолгГТУ, Волжский

Ожогина Елена Германовна – д.г.-м.н., ВИМС, Москва

Потапов Евгений Эдуардович – д.х.н., РТУ-МИРЭА, Москва

Резниченко Дмитрий Сергеевич – к.т.н., НИИ ЭМИ, Москва

Рожкова Наталья Николаевна – д.х.н., ИГ КарНЦ РАН, Петрозаводск

Таммсаар Эне – Тарту, Эстония, BioCC OU

Терентьев Владимир Витальевич – ООО НПК «Карбон Шунгит», Петрозаводск

Цымбулов Леонид Борисович – д.т.н., ООО «Институт Гипроникель», Санкт-Петербург

Шишков Алексей Юрьевич – Петрозаводск

Щипцов Владимир Владимирович – д.г.-м.н., ИГ КарНЦ РАН, Петрозаводск

Ядыкина Валентина Васильевна – д.т.н., Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, Белгород

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем сборнике представлены материалы конференции с международным участием «ШУНГИТОВЫЕ ПОРОДЫ КАРЕЛИИ: ГЕОЛОГИЯ, СТРОЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ «Шунгит-2020–2021», 29 июня – 01 июля 2021 г., г. Петрозаводск, на базе Института геологии Карельского научного центра РАН.

В программу совещания включен широкий круг проблем:

- Геологическое строение месторождений шунгитовых пород.
- Лито- и геохимия шунгитовых пород; минералогия углерода и шунгитовых пород.
- Физико-химические свойства углеродистого вещества и шунгитовых пород и их преобразование под влиянием природных и техногенных факторов.
- Научно-технологические аспекты применения шунгитовых пород в крупнотоннажных производствах (металлургия, строительство, сельское хозяйство, шины, резинотехнические изделия, химический комплекс и др.).
- Инновационные материалы и технологии.

Материалы сборника представляют интерес для широкого круга геологов и технологов.

Геологическое строение месторождений шунгитовых пород

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШУНГИТОВЫХ ПОРОД ОНЕЖСКОГО СИНКЛИНОРИЯ В XXI ВЕКЕ

Дейнес Ю. Е.

*Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия,
deines@krc.karelia.ru*

Исследованием шунгитовых пород (ШП) в пределах Онежского синклинория Фенноскандинавского щита российские и зарубежные ученые занимаются на протяжении более двухсот лет. Проблеме генезиса месторождений ШП также посвящено множество работ, обзор которых представлен в статье 2019 г. [1]. В 2000 г. М. М. Филипповым была предложена диапировая модель формирования залежей ШП [2]. В 2001–2005 гг. сотрудниками Института геологии КарНЦ РАН было осуществлено геотектоническое районирование Онежской структуры на основе результатов региональных геофизических работ, создана модель формирования семейств купольных залежей ШП [2]. Теоретически и экспериментально было доказано существование в докембрии систем купольных структур, сформированных по органоглинам и органо-кремнистым осадочным породам, и были получены данные об основных параметрах системы (ведущей длине волны и азимутах простирания первичных валов) для верхней подсвиты заонежской свиты людиковия в пределах Толвуйской синклинали [3].

Большой объем геофизических наблюдений 2006–2008 гг. позволил с высокой достоверностью утверждать, что в центральной части Толвуйской синклинали локализованы три купольные шунгитоносные структуры. Эти залежи, в отличие от Максовского месторождения, не затронуты процессами эрозии, т.е. их апикальные части перекрыты породами шунгитоносных горизонтов. Проведены работы по систематизации знаний о ШП Карелии [4].

В 2007 г. в рамках международного проекта FAR-DEEP, инициатором которого выступила Геологическая служба Норвегии, были пробурены две скважины для изучения генезиса ШВ и залежей ШП. Скважины 12 и 13, пройденные по породам верхней

подсвиты заонежской свиты, позволили уточнить данные по строению шунгитоносных горизонтов, генезису высокоуглеродистых пород, их взаимоотношениям с терригенными и магматическими породами, стратиграфии верхней подсвиты заонежской свиты [5].

В 2008–2009 гг. в Кондопожской структуре была пробурена Онежская параметрическая скважина (ОПС), впервые в полном объеме вскрывшая заонежскую свиту. Материалы изучения керна и интерпретации комплексного каротажа включены в коллективную монографию [6].

В 2013 г. по международному проекту OnZap были пробурены три скважины в районе месторождения Шуньга Хмельозерской синклинали, вскрывшие шунгитоносные горизонты [7].

Полученные материалы позволили обосновать важные региональные стратиграфические реперы для разрезов заонежской свиты [8, 9]; существование массового накопления ОВ и генерации углеводородов (УВ) в Онежском бассейне и в других бассейнах-аналогах палеопротерозоя (феномен «Шуньга») [10, 11]; впервые для протерозойских отложений выявить инъекции органоминерального вещества [12].

Дальнейшие геофизические исследования были направлены на выявление купольных структур в Мягрозерской, Хмельозерской и других синклиналях, аналогичных по геологическому строению Толвуйской синклинали, определение на отдельных примерах основных параметров систем и перспектив открытия крупных залежей ШП [13]. Перспективность открытия субпластовых месторождений шуньгского типа в нескольких районах Онежской структуры, в том числе в непосредственной близости от месторождения Шуньга рассмотрена в монографии [14].

Работа выполнена в рамках госзадания ИГ КарНЦ РАН.

Литература

1. Дейнес Ю. Е., Первунина А. В. Генезис высокоуглеродистых шунгитоносных пород – обзор // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. 16. С. 136–140.

2. Филиппов М. М. Шунгитоносные породы Онежской структуры. Петрозаводск. 2002. 280 с.

3. Филиппов М. М., Клабуков Б. Н., Суханов А. В. Экспериментальное определение основных параметров систем купольных шунгитоносных структур Толвуйской синклинали // Российский геофизический журнал. 2004. № 3. С. 25–30.

4. Атлас текстур и структур шунгитоносных пород Онежского синклинория / Под ред. М. М. Филиппова, В. А. Мележика, Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 80 с.

5. Strauss H., Melezhik V. A., Lepland A., Fallick A. E., Hanski E. J., Filippov M. M., Deines Yu. E., Illing C. J., Črne A. E., Brasier A. E. Enhanced Accumulation of Organic Matter: The Shunga Event // Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Volume 3: Global Events and the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. Series: Frontiers in Earth Sciences. Melezhik V. A. et al., eds. Springer: Heidelberg. 2013. P. 1195–1273.

6. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / Отв. Ред. Л. В. Глушанин, Н. В. Шаров, В. В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2011. 431 с.

7. Kreitsmann T., Kulavjir M., Lepland A., Paiste K., Paiste P., Prave A. R., Sepp H., Romashkin A. E., Rychanchik D. V., Kirsimäe K. Hydrothermal dedolomitisation of carbonate rocks of the Paleoproterozoic Zaonega Formation, NW Russia – Implications for the preservation of primary C isotope signals // Chemical Geology 512 (2019), p. 43–57, March 2019.

8. Филиппов М. М., Есунко О. А. Геолого-геофизические маркирующие горизонты палеопротерозоя Онежской структуры. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 250 с.

9. Qu Y., Črne A. E., Lepland A., van Zuilen M. A. Methanotrophy in a Paleoproterozoic oil field ecosystem, Zaonega Formation, Karelia, Russia. Geobiology. 2012. V. 10. P. 467–478.

10. Kump L. R., Junium C., Arthur M. A., Brasier A., Fallick A., Melezhik V., Lepland A., Črne A. E., Luo G. M. Isotopic evidence for massive oxidation of organic matter following the great oxidation event. Science. 2011. V. 334. P. 1694–1696.

11. Melezhik V. A., Fallick A. E., Filippov M. M., Lepland A., Rychanchik D. V., Deines Y. E., Medvedev P. V., Romashkin A. E., Strauss H. Petroleum surface oil seeps from Palaeoproterozoic petrified giant oilfield // Terra Nova. 2009. V. 21. P. 119–126.

12. Филиппов М. М., Дейнес Ю. Е., Лохов К. И., Первунина А. В., Лохова О. В. Новый генетический тип шунгитоносных пород палеопро-

розоя Онежской структуры // Региональная геология и металлогения. Вып. 67. СПб, 2016. С. 95–106.

13. Филиппов М. М., Дейнес Ю. Е. Перспективы воспроизводства запасов шунгитов в Карелии // Горный журнал. 2019. № 3. С. 68–72. DOI: 10.17580/gzh.2019.03.13

14. Филиппов М. М., Дейнес Ю. Е. Субпластовый тип месторождений шунгитов Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. 261 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ОТКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШУНГИТОВ НА УЧАСТКЕ НИКОНОВА ГОРА

Филиппов М. М., Дейнес Ю. Е.¹

¹*Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия,
deines@krc.karelia.ru*

История изучения широко известного Шуньгского месторождения шунгитов подробно изложена в работе [1]. На сегодня исследованы два участка (рис. 1) – классический, в пределах которого и расположено месторождение (водораздел озер Путкозеро и Валгмозеро), а также участок Шуньга-2, расположенный на водоразделе озера Валгмозеро и губа Святуха с двумя участками, перспективными на открытие новых купольных месторождений – Крестная гора и Цилополе (рис. 1), и рекомендованный для разведочных работ в 2017 г. организации ООО «Карбон-Шунгит Карелия».

В этом районе экспедицией «Невскгеология» в 1982 г. проведено картирование м-ба 1:50 000 и пробурены две скважины, а в 2017–2018 гг. Институтом геологии КарНЦ РАН выполнены геофизические работы, позволившие определить координаты двух названных перспективных участков. Участок Шуньга-2 был выбран на основе представлений о локализации в Онежской синклинорной структуре купольных шунгитоносных структур в пределах антиклиналей третьего порядка, развитых в синклинальных структурах второго порядка по отложениям верхней подсвиты заонежской свиты. При картировании такая антиклиналь и была намечена на западном берегу озера Валгмозеро (см. рис. 1) в пределах северо-западного замыкания Хмельозерской синклинали второго порядка, погружающейся в юго-восточном направлении.

В начале изучения участка Шуньга-2 авторы ставили перед собой следующие задачи: локализация центров купольных структур (Крестная гора и Цилополе) и определение расстояния между центрами соседних купольных структур (ведущей длины волны предполагаемой системы подобных структур, сформированной, как и в Толвуйской синклинали второго порядка по шестому шунгитоносному горизонту). Это расстояние оказалось близким к 1,8 км.



Рис. 1. Геологическая карта водораздела оз. Валгмозеро и губа Святуха с границами участков, перспективных для открытия месторождений шунгитов (геологическая основа [2])

Экспериментальный результат позволил считать, что при наличии благоприятных тектонических условий можно прогнозировать и другие аналогичные купольные структуры к северу-западу и к югу-востоку от названных купольных структур. Поскольку антиклиналь погружается в юго-восточном направлении, то купольные структуры на продолжении антиклинали от участка Цилополе будут перекрыты коренными породами суйсарской свиты¹. А вот к северу-западу от участка Крестная гора предполагаемая купольная структура должна перекрываться лишь четвертичными отложениями. При этом уровень эрозионного среза у нее должен быть больше, чем у купольной структуры Крестная гора, следовательно, возможности ее выявления геофизическими

¹ Отметим, что в южной части Хмельозерской структуры, где эта же антиклиналь испытывает поднятие, выявлена купольная структура возле д. Пургино.

методами должны быть очень благоприятные. В 2017 г. северо-западное продолжение антиклинали от участка Крестная гора считалось менее перспективным из-за наличия крупных тектонических разломов (см. рис. 1). Итак, намечаемый для изучения геофизическими методами участок Никонова Гора приурочен к антиклинали третьего порядка на расстоянии от центра участка Крестная гора, равном $1,8 \text{ км}^2$. Основной метод – ЕП, дополнительные – ВЭЗ, магниторазведка, при наличии технических возможностей – гравиразведка. Координаты предполагаемого центра участка Никонова гора (рис. 2): широта 62,5838, долгота 34,8769.

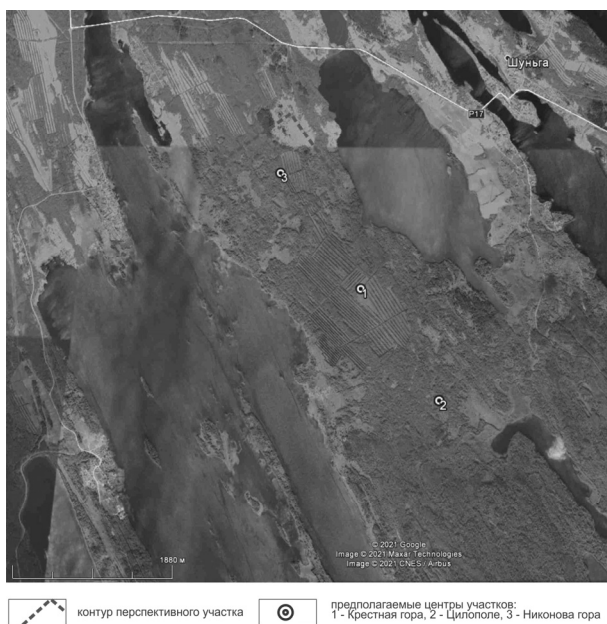


Рис. 2. Космоснимок водораздела оз. Валгмозеро – губа Святуха с границами участка Никонова гора для изучения геофизическими методами

² В диапировой модели формирования купольных шунгитоносных структур ведущая длина волны системы складок нагнетания в основном определяется мощностью питающего горизонта. Очевидно, что на расстоянии 1,8 км мощность шунгитоносного горизонта, по которому сформирован купол на участке Никонова Гора, будет близким к мощности этого горизонта на участке «Шуныга-2».

Площадь для геофизических наблюдений выбрана равной около 1 км², учитывая возможные погрешности определения направления антиклинали третьего порядка (в этой части структуры отсутствуют скважины и другие горные выработки, поэтому границы отложений геологами «Невскегеология» на рисунке 1 показаны пунктиром).

С практической точки зрения этот участок более выгоден для будущей разработки по сравнению с участками Крестная гора и Цилополе, поскольку он ближе к автомобильной дороге пос. Шуньга – Медвежьегорск и к нему близко подходит асфальтированная дорога. Институт геологии в 2021-м году планирует провести на участке рекогносцировочные работы, а при наличии заинтересованных организаций может выполнить геофизические наблюдения в объемах, достаточных для оформления лицензии на геологоразведочные работы. Судя по рисунку 2, здесь легко могут быть соблюдены требования охранного законодательства (населенные пункты, берега озер). Участок имеет скудную растительность в том числе из-за многочисленных обнажений габбро-долеритов, что также свидетельствует о малой мощности четвертичных отложений по всей его площади.

Работа выполнена в рамках госзадания ИГ КарНЦ РАН.

Литература

1. Филиппов М. М., Дейнес Ю. Е. Субпластовый тип месторождений шунгитов Карелии. КарНЦ РАН, 2018, 261 с.
2. Петров Ю. В. Отчет о результатах прогнозно-геологических работ м-ба 1:50000 по оценке перспектив ураноносности Заонежской площади Онежского прогиба за 1978-81 гг. Л.: ПГО «Невскегеология», 1982. ТФГИ РК. Инв. № 2544.

**Лито- и геохимия
шунгитовых пород;
минералогия углерода
и шунгитовых пород**

RARE EARTH ELEMENTS AND CARBON ISOTOPE RECORD FROM THE CARBONATES OF THE ZAONEGA FORMATION

**Kreitsmann T.^{1,2}, Lepland A.^{2,3}, Bau M.¹, Prave A.⁴, Paiste K.^{2,5},
Mänd K.², Romashkin A. E.^{6†}, Kirsimäe K.²**

¹*Department of Physics and Earth Sciences, Jacobs University Bremen,
Campus Ring 1, 28759 Bremen, Germany,
t.kreitsmann@jacobs-university.de*

²*Department of Geology, University of Tartu, 50411 Tartu, Estonia*

³*Geological Survey of Norway (NGU), 7491 Trondheim, Norway*

⁴*School of Earth and Environmental Sciences, University of St Andrews,
St Andrews KY16 9AL, Scotland*

⁵*Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University
in St. Louis, St. Louis, MO 63130, USA*

⁶*Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy
of Sciences, Pushkinskaya 11, 185610 Petrozavodsk, Russia*

† Deceased

The Paleoproterozoic Onega Basin has been central in developing our understanding of the paleoenvironmental conditions prevailing during and after the first appearance of free atmospheric oxygen. Notably, the Tulomozero and Zaonega Formations offer a unique opportunity to study the largest known perturbation in the global carbon cycle, i.e. the Lomagundi-Jatuli Event and the following first massive accumulation of organic matter – known as the Shunga Event. However, reading the paleoenvironmental archive stored in the Onega Basin is hampered by the widespread syndepositional volcanic activity that is especially prominent in the Zaonega Formation. In this contribution, we take a detailed look at carbonate beds from the upper part of the Zaonega Formation drilled in the close vicinity of the famous Shunga village outcrop – the type locality for the shungite rock. We focus on the record of carbonate carbon isotope and rare earth elements (including yttrium, REY) to describe the paleoenvironment after the Lomagundi-Jatuli Event and during the Shunga Event.

We used detailed petrographic and mineralogical characterization, as well as the carbonate oxygen isotope and bulk chemical composition to distinguish between the best-preserved and the secondarily altered intervals. After careful screening, we show that the central part of massive dolostone beds are relatively well-preserved and experienced only minor alteration, hence preserving primary geochemical information. Our screened carbonate carbon isotope data show a shift from c. -5‰ to the return to normal marine values around 0‰.

In addition, our data shows that the massive dolostone beds carry a seawater REY pattern with a negative Ce_{SN} and a positive Eu_{SN} anomaly. Cerium can be decoupled from other trivalent REY during oxidative weathering and/or in oxic aqueous environments. Hence, during precipitation of these dolostones, there had to be enough oxygen in the atmosphere-ocean system to decouple Ce from other REY. The positive Eu_{SN} anomaly, on the other hand, suggests that high temperature fluids were the major source of REY in the Onega Basin. This was typical for the Archean oceans but by 2 Ga the global positive Eu_{SN} anomaly had largely diminished. Thus, the positive Eu_{SN} anomaly is most likely a basin-specific feature and indicates that the Onega Basin was at least semi-restricted during Zaonega times.

WHAT THE ZAONEGA FORMATION REVEALS ABOUT GLOBAL GEOCHEMISTRY: AN IRON ISOTOPE PERSPECTIVE

**Mänd K.^{1,2}, Lalonde S. V.³, Paiste K.^{1,4}, Thoby M.³, Lumiste K.¹,
Robbins L. J.⁵, Kreitsmann T.⁶, Romashkin A. E.^{7†}, Kirsimäe K.¹,
Lepland A.^{1,8,9,10}, Konhauser K. O.²**

¹*Department of Geology, University of Tartu, Tartu, Estonia*

²*Department of Earth & Atmospheric Sciences, University of Alberta,
Edmonton, Alberta, Canada, kaarel.mand@ut.ee*

³*CNRS–UMR6538 Laboratoire Géosciences Océan, European Institute for
Marine Studies, UBO, Plouzané, France*

⁴*Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University in St.
Louis, St. Louis, Missouri, USA*

⁵*Department of Geology, University of Regina, Regina, Saskatchewan,
Canada*

⁶*Department of Physics and Earth Sciences, Jacobs University Bremen,
Bremen, Germany*

⁷*Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy
of Science, Petrozavodsk, Russia*

⁸*CAGE–Centre for Arctic Gas Hydrate, Environment and Climate,
Department of Geosciences, UiT The Arctic University of Norway,
Tromsø, Norway*

⁹*Geological Survey of Norway (NGU), Trondheim, Norway*

¹⁰*Department of Geology, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia*

†*Deceased 16 Feb, 2021*

The Zaonega Formation of the Onega sedimentary basin (Karelia, Russia) is among the most-studied middle Paleoproterozoic (~2.0 billion years old) sedimentary successions in the world. As such, it has greatly informed the modern understanding of environmental conditions during this pivotal period of Earth's history, following the initial rise of oxygen in the atmosphere. However, the complexity of the sedimentary setting and diagenetic history of the Zaonega Formation has led to contradictory conclusions being drawn from different sets of paleoenvironmental proxies. In particular, the redox structure and openness of the Onega Basin to the global ocean during

the deposition of the formation remain debated [1, 2]. As such, the extent to which geochemical data from the formation can be taken as representative of global environmental conditions remains unresolved.

In order to provide new constraints on these questions, we studied iron (Fe) isotope ratios in organic carbon and trace metal rich mudstones of the upper Zaonega Formation [3]. The data reveal a general negative covariation between authigenic Fe abundance (Fe/Al) and Fe isotope ratios ($\delta^{56}\text{Fe}$, ranging from -0.58‰ to $+0.60\text{‰}$), indicating redox-driven Fe remobilization in sediments and transport to depth, similar to what is observed in the Black Sea today. Since these Fe shuttles only develop in hydrographically restricted marine basins, especially those that are redox stratified, this suggests that the Onega Basin experienced separation from the global ocean [4]. A subset of samples, however, display a positive covariation between Fe/Al and $\delta^{56}\text{Fe}$, best explained though the deposition of authigenic Fe oxides. As this process requires a supply of oxidants, it is most easily explained by the periodic intrusion of oxygen-rich waters into the Onega Basin.

Overall, the picture that emerges confirms previous suggestions that the Onega Basin was largely restricted and redox-stratified, but nevertheless saw periodic flushing of the basin with oxygen-rich waters from the global oceans. This influx of oxygenated seawater would have carried dissolved nutrients and trace metals that fueled organic carbon and metal accumulation in the Zaonega Formation. Therefore, while geochemical signals in the Zaonega Formation carry a global component, their interpretation must follow a careful screening for local effects.

References

1. Paiste K., Lepland A., Zerkle A., Kirsimäe K., Kreitsmann T., Mänd K., Romashkin A. E., Rychanchik D., Prave A. R. Identifying global vs. basinal controls on Paleoproterozoic organic carbon and sulfur isotope records. *Earth-Sci. Rev.* 2020. 207, 103230
2. Ossa Ossa F., Bekker A., Hofmann A., Poulton S. W., Ballouard C., Schoenberg R. Limited expression of the Paleoproterozoic Oklo natural nuclear reactor phenomenon in the aftermath of a widespread deoxygenation event $\sim 2.11\text{--}2.06$ billion years ago. *Chemical Geology*, V. 578. 2021. 120315

3. *Mänd K., Lalonde S. V., Paiste K., Thoby M., Lumiste K., Robbins L. J., Kreitsmann T., Romashkin A. E., Kirsimäe K., Lepland A. et al.* Iron Isotopes Reveal a Benthic Iron Shuttle in the Palaeoproterozoic Zaonega Formation: Basinal Restriction, Euxinia, and the Effect on Global Palaeoredox Proxies. *Minerals* 2021. 11, 368

4. *Scholz F.* Identifying oxygen minimum zone-type biogeochemical cycling in Earth history using inorganic geochemical proxies. *Earth-Science Reviews*. V. 184. 2018. P. 29–45.

TESTING THE GLOBAL SIGNIFICANCE OF THE SULFUR ISOTOPE RECORD OF THE PALEOPROTEROZOIC ZAONEGA FORMATION

**Paiste K.^{1,2}, Fike D. A.¹, Kirsimäe K.², Mänd K.², Paiste P.², Jones C.¹,
Lepland A.^{2,3}, Prave A. R.⁴, Romashkin A. E.^{5†}**

¹*Department of Earth & Planetary Sciences, Washington University
in St Louis, St Louis, MO 63130, USA*

²*Department of Geology, University of Tartu, 50411 Tartu, Estonia,
kart.paiste@ut.ee*

³*Geological Survey of Norway (NGU), 7491 Trondheim, Norway*

⁴*School of Earth and Environmental Sciences and Centre for Exoplanet
Science, University of St Andrews, St Andrews, KY16 9AL, Scotland, UK*

⁵*Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy
of Sciences, Pushkinskaya 11, 185610 Petrozavodsk, Russia*

†*Deceased 16 Feb, 2021*

The Paleoproterozoic Onega Basin is unique in that it encompasses the postulated ~2.3–2.0 Ga Lomagundi-Jatuli Event (LJE) – a large-scale positive carbonate C-isotope ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$) excursion believed to reflect transient oxygenation of an otherwise poorly ventilated Paleoproterozoic ocean. Specifically, the LJE bearing thick evaporite and carbonate beds of the Tulomozero Formation provide indisputable evidence for well-oxygenated surface conditions [1]. At the same time, the unusually organic- and pyrite-rich metasedimentary rocks of the younger Zaonega Formation have been variably interpreted to capture a time of decreased [2, 3] or increased [4–7] ocean oxygenation. Moreover, the meaning of the unusually negative organic carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ of $\sim -45\text{‰}$) and positive pyrite sulfur ($\delta^{34}\text{S} > +20\text{‰}$) isotope excursions in the upper part of the Zaonega Formation has been debated to either reflect the influence of global or regional processes acting on the carbon and sulfur isotope cycles.

To better understand the environmental information contained in ancient metasedimentary rocks of the Onega Basin, we combine classical geological and novel geochemical approaches to show that the influence of diagenetic and metamorphic processes on the bulk

$\delta^{34}\text{S}$ record could be more pervasive than initially thought. The stratigraphic shift from negative to positive bulk $\delta^{34}\text{S}$ that approaches estimates for the contemporaneous seawater sulfate isotopic composition coincides with changes in the basin dynamics and depositional environment. However, the presence of several pyrite generations, i.e., early- to late-diagenetic and secondary pyrites, indicates that the bulk $\delta^{34}\text{S}$ record integrates a mixture of isotopic signatures that were generated at different stages of sediment evolution. Indeed, in situ secondary ion mass spectrometry (SIMS) investigations of the different pyrite textures reveal that the earliest formed pyrites carry less ^{34}S -enriched and more variable $\delta^{34}\text{S}$ values relative to those that formed later in the diagenetic or metamorphic environment. These results call into question the previous interpretation that the anomalously positive bulk pyrite $\delta^{34}\text{S}$ reflect fluctuations in the contemporaneous seawater sulfate reservoir and provide a deeper understanding of the mechanisms that govern S-isotope fractionations in sediments and how these signatures are preserved over geologic time. Thus, the sedimentary $\delta^{34}\text{S}$ record of the metasedimentary Onega Basin is an excellent example of the complexities of interpreting sulfur isotope data and demonstrates that the primary way to discriminate between local and global mechanisms is to place stable isotope records into a depositional and petrographic context.

References

1. Blättler C. L., Claire M. W., Prave A. R., Kirsimäe K., Higgins J. A., Medvedev P. V., Romashkin A. E., Rychanchik D. V., Zerkle A. L., Paiste K., Kreitsmann T., Millar I. L., Hayles J. A., Bao H. et al. Two-billion-year-old evaporites capture Earth's great oxidation. *Science*. 2018. 360, p. 320–323.
2. Ossa-Ossa F., Eickmann B., Hofmann A., Planavsky N. J., Asael D., Pambo F., Bekker A. Two-step deoxygenation at the end of the Paleoproterozoic Lomagundi Event. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2018. 486, 70–83.
3. Scott C., Wing B. A., Bekker A., Planavsky N. J., Medvedev P., Bates S. M., Yun M., Lyons T. W. Pyrite multiple-sulfur isotope evidence for rapid expansion and contraction of the early Paleoproterozoic seawater sulfate reservoir. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2014. 389, 95–104.

4. Mänd K., Lalonde S. V., Robbins L. J. et al. Palaeoproterozoic oxygenated oceans following the Lomagundi–Jatuli Event. *Nat. Geosci.* 13, 302–306 (2020).

5. Mänd K., Lalonde S. V., Paiste K., Thoby M., Lumiste K., Robbins L. J., Kreitsmann T., Romashkin A. E., Kirsimäe K., Lepland A. et al. Iron Isotopes Reveal a Benthic Iron Shuttle in the Palaeoproterozoic Zaonega Formation: Basinal Restriction, Euxinia, and the Effect on Global Palaeoredox Proxies. *Minerals* 2021. 11, 368.

6. Paistea K., Lepland A., Zerkle A. L., Kirsimäe K., Izon G., Patel N. K., McLean F., Kreitsmann T., Mänd K., Bui T. H., Romashkin A. E., Rychanchik D. V., Prave A. R. Multiple sulphur isotope records tracking basinal and global processes in the 1.98 Ga Zaonega Formation, NW Russia. *Chem. Geo.* 2018. 499, p. 151–164.

7. Paiste K., Lepland A., Zerkle A., Kirsimäe K., Kreitsmann T., Mänd K., Romashkin A. E., Rychanchik D., Prave A. R. Identifying global vs. basinal controls on Paleoproterozoic organic carbon and sulfur isotope records. *Earth-Sci. Rev.* 2020. 207, 103230.

STRUCTURALLY HETEROGENEOUS CARBONACEOUS MATTER AND MINERAL TEMPLATING INDUCED GRAPHITIZATION IN KARELIAN SHUNGITE ROCKS

Van Zuilen M. A.¹, Qu Y.², Lepland A.^{3,4}

¹*Equipe Géomicrobiologie, Université de Paris, Institut de Physique du Globe de Paris, CNRS, France*

²*Institute of Deep-sea Science and Engineering, Chinese Academy of Sciences, China*

³*Geological Survey of Norway, Trondheim, Norway*

⁴*Department of Geology, University of Tartu, Estonia*

The 2.0 Ga Zaonega Formation, Karelia, Russia, contains carbonaceous material (shungite) with various unusual characteristics. This material is non-graphitizing [1] and contains nanoscale structures such as curved globular units [2, 3]. The question largely remains why these shungites differ so significantly from other metamorphosed organic-rich sediments of Archean and Proterozoic age. The geologic history of the Zaonega Formation is complex, involving hydrothermal circulation, hydrocarbon generation/migration, mineral authigenesis, and regional greenschist-facies metamorphism.

Here we present an overview of our nano-scale structural studies on drill cores of the Zaonega Formation (ICDP project FAR-DEEP), and show how much of the nanoscale structural variability in these shungites is the result of hydrothermally-induced mineral-templated graphitization [4, 5].

Detailed TEM analysis of FIB-milled foils of selected samples showed the occurrence of thin films of highly ordered graphitic carbon at mineral surfaces. These graphite films – consisting of 20-100 individual graphene layers – completely envelop quartz crystals and occur on specific crystal surfaces of chlorite [4]. Based on that observation it was proposed that mineral surfaces can act as templates for the adsorption of oriented organic molecules and/or parallel ordering of carbon crystallites, and thus can initiate and accelerate localized graphitization of sedimentary organic material during hydrothermal alteration and metamorphism.

A subsequent systematic Raman spectroscopy-based study [5] through drill cores representing 400 m of the middle and upper strata of the Zaonega Formation, showed a clear difference in structural

order between the bulk carbonaceous matrix (Matrix-CM) and the CM occurring near mineral contacts (Contact-CM). This templating effect was now also observed on the surface of albite, mica, and titanite, in addition to quartz and chlorite. Throughout the stratigraphy the structural order of CM varied with the degree of alteration and hydrothermal circulation, from highly ordered structures directly above a large gabbro intrusion at the bottom of the stratigraphy to less ordered structures higher up in the sequence. This trend directly correlates with the $\delta^{18}\text{O}$ trend [6] of secondary calcite, and can be attributed to the decreasing influence and temperature regime of hydrothermal circulation upward in the stratigraphy.

The results presented here suggest that organic-rich hydrothermal fluids and authigenic mineral templating can locally strongly enhance graphitization of carbonaceous materials, and cause sample-scale heterogeneities in the structural order of organic materials. These observations made in the shungites of Karelia have important implications for the interpretation of carbonaceous materials in other ancient rocks experiencing circulation of organic-rich hydrothermal fluids.

References

1. Khavari-Khorasani The nature of Karelian shungite. *Chemical Geology* 26. 1979. P. 165–182.
2. Kovalevski V. V. Structure of shungite carbon. *Russian Journal of Inorganic Chemistry* 39. 1994. P. 28–32.
3. Kovalevski V. V., Buseck P. R., Cowley J. M., 2001. Comparison of carbon in shungite rocks to other natural carbons: an X-ray and TEM study. *Carbon* 39, 243–256.
4. van Zuilen M. A., Fliegel D., Wirth R., Lepland A., Qu Y., Schreiber A., Romashkin A. E., Philippot P. Mineral-templated growth of natural graphite films. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 83. 2012. P. 252–262.
5. Qu Y., van Zuilen M. A., Lepland A., Hydrothermal circulation and oil migration at the root of the heterogeneous micro-structure of carbonaceous material in the 2.0 Ga Zaonega Formation, Onega Basin, Russia. *Precambrian Research*, 343. 2020. 105705.
6. Fallick A., Melezhik V., Brasier A., Prave A. Unusual, basin-scale, fluid–rock interaction in the Palaeoproterozoic Onega basin from Fennoscandia: Preservation in calcite $\delta^{18}\text{O}$ of an ancient high geothermal gradient. *Precambrian Research* 281. 2016. P. 224–235.

ШУНГИТОВЫЙ УГЛЕРОД – СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРИЛОЖЕНИЕ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ

Ковалевский В. В.

*Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия;
kovalevs@krc.karelia.ru*

Шунгитовые породы – природное углеродсодержащее сырье Республики Карелия (Россия), уникальное по геологическим условиям образования, огромным промышленным запасам, строению углеродистого вещества (шунгита) и пород, а также разнообразию их физико-химических свойств и направлений практического использования. К настоящему времени показано, что шунгитовые породы, как нерудное полезное ископаемое, могут быть использованы в металлургии, являются эффективными адсорбентами для процессов водоподготовки, способны поглощать фенолы, гумины и нефтепродукты, материалы на их основе проявляют высокую каталитическую активность в процессах органического синтеза циклических углеводородов, могут быть использованы в качестве активного наполнителя широкого класса композиционных материалов для придания им новых качеств: повышенной износостойкости, химической стойкости и электропроводности. Шунгитовые породы обладают радиоэкранирующими свойствами, на их основе получены конструкционные материалы, обеспечивающих защиту человека от техногенных электромагнитных излучений. Перспективны в сельском хозяйстве как удобрение, повышающее урожайность и стойкость культур к заболеваниям, и как кормовая добавка к пище пушных зверей, свиней и птицы.

Вместе с тем в практическом использовании шунгитовых пород возникает ряд проблем, основная из которых – неоднородность сырья даже в пределах одного месторождения, как по химическому составу, так по структурным параметрам углерода и пород в целом. И если по химическому составу разработаны и доступны сертификационные требования к сырью, то по структурным параметрам такие требования даже не рассматриваются.

А именно структура углерода, как например, для графита и алмаза, определяет основные свойства шунгитовых пород. Такое положение приводит к тому, что одна партия шунгитового сырья демонстрирует отличные свойства, например, при использовании в металлургических процессах, другая удовлетворительные, а третья вообще приводит к бракованной продукции.

Поскольку шунгит не является кристаллическим, т.е. минералом, а относится, по представлениям Н. П. Юшкина, к минералоидам, то для его описания требуется многоуровневая структурная систематика. В качестве таких уровней для шунгита определяющими является структурный (надмолекулярная и молекулярная структура), структурно – физико-химический (зонная структура и характерные физико-химические свойства), геолого-генетический, объединяющий собственно генетический и вещественно-генетический (наличие парагенезисов), а также техногенно-генетический (возможные преобразования углеродистого вещества в техногенных условиях).

Основными типами надмолекулярной структуры шунгитов являются глобулярная, чешуйчатая, пачечная и пленочная. На молекулярном уровне шунгиты характеризуются графеновой сеткой углеродных атомов, неравномерно искаженной в двух неэквивалентных для гексагонального слоя кристаллографических направлениях 100 и 110 таким образом, что её гексагональная симметрия понижается до тригональной. При этом графеновые слои плавно изогнуты и характеризуются дефектной структурой при наличии пентагональных колец, что характерно и для фуллереноподобных нанообъектов.

Особенности структурно – физико-химического уровня, определяются зонной структурой, которая может быть охарактеризована по энергиям возбуждения валентных и остовных электронов (спектроскопии по характеристическим потерям энергии электронов – СХПЭЭ) и непосредственно связана с рядом физико-химических свойств материалов. По результатам СХПЭЭ шунгиты более близки к фуллеренам, чем к графиту, что обусловлено существенной кривизной углеродных слоев шунгитов и перекрытием π -орбиталей на внутренних поверхностях глобул. Этот

экспериментальный факт предполагает, в свою очередь, наличие физико-химических свойств, характерных для фуллеренов.

Геолого-генетический уровень можно охарактеризовать наличием парагенезисов углеродистого вещества, фуллеренов, в том числе высших (C_{240} , C_{560}) и фуллереноподобных структур – полых микросфер и волокон. Техногенно-генетический уровень, определяется возможными преобразованиями углеродистого вещества шунгитов в техногенных условиях и непосредственно связан с его структурой и генезисом. В частности, при повышенной температуре происходит слияние глобул, приводящее к объединению наноразмерных пор и графеновых слоев с образованием фуллероидных структур – полых наночастиц и волокон.

В целом, углеродистое вещество шунгитовых пород обладает характерными структурными признаками, которые позволяют выделить его из общей массы углеродистых некристаллических веществ и определить само понятие термина «шунгит» – неграфитируемый, фуллереноподобный минералоид углерода.

Однако, шунгит, как природный материал, характеризуется наличием существенного количества микропримесей, которые находятся в форме микро- и нано- кристаллов, слоев, допирующих углерод и кластеров неуглеродных элементов. Шунгитовые породы включают в свой состав помимо углерода большой спектр макро и микроэлементов. Макроэлементы (Si, Fe, Ti, Al, Ca, Mg, Mn, K, Na) входят, в основном, в породообразующие минералы такие как, кварц, слюда, хлорит, альбит, кальцит и доломит, а микроэлементы (Cu, Zn, Co, Ni, Cr, V, Mo, Pb, S, As, Se и пр.) связаны с акцессорными, в основном, сульфидными минералами. Среди них пирит, виоларит, халькопирит, миллерит и другие, а также слоистые силикаты – роскоэлит и парагонит.

Акцессорные микро- кристаллы и нано- кристаллы распределены довольно равномерно в углеродной матрице часто в ассоциации со сложными алюмосиликатами. Между кристаллами и углеродом выявлено наличие двух типов переходных областей. Первые состоят из слоев более упорядоченного углерода с межплоскостным расстоянием 0,34 нм на поверхности микрокристаллов, а вторые – из слоев сложного строения с межплоскостным

расстоянием, изменяющимся от 0,2 до 0,5 нм. Также, в шунгитовом углероде обнаружены нанокристаллы не только без переходных областей, но даже без четких границ раздела, что свидетельствует о возможности их роста непосредственно из исходного шунгитового протовещества. Неуглеродные включения в виде атомарных монослоев, интеркалирующих углерод, имеют длину до 100 нм и повторяют глобулярную конфигурацию изогнутых графеновых слоев. При этом межслоевые расстояния (002) увеличиваются от 0,34 до 0,6 нм. Наноразмерные кластеры неуглеродных элементов выявляются по повышенному контрасту в плоскости углеродного слоя и имеют размеры порядка нанометра.

В целом, различные уровни структурной организации шунгитового углерода и формы неуглеродных компонент могут оказывать существенное влияние на различные технологические процессы. Например, наличие полых глобулярной структуры (что характерно и для коксов), позволяет успешно применять шунгиты в металлургии. Равномерное распределение микропримесей, труднодоступных в низкотемпературных технологиях дает возможность использовать шунгитовые породы в водоподготовке и сельском хозяйстве, несмотря на высокое суммарное содержание нежелательных микроэлементов. Но в то же время создает условия для каталитически инициированного наноструктурирования шунгитовых пород при повышенных температурах, с получением углеродных фуллереноподобных структур и нановолокнистых карбидов кремния. Особенности молекулярной и зонной структур в совокупности с распределением микропримесей позволяют шунгитовым породам демонстрировать уникальные физико-химические свойства, в частности, проявление сверхпроводящих свойств при пониженных температурах. В общем случае различные уровни структурной организации углеродистого вещества и шунгитовых пород вносят свой вклад в любую технологию, и требуют учета для их эффективного использования.

ИЗУЧЕНИЕ ШУНГИТОВОГО ВЕЩЕСТВА И СОСТАВЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ШУНГИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАОНЕЖЬЯ

Котельников А. Р.¹, Ахмеджанова Г. М.¹, Сук Н. И.¹,
Котельникова З. А.¹, Мартынов К. В.¹, Белоусова Е. О.¹,
Криночкина О. К.², Ананьев В. В.³

¹Институт экспериментальной минералогии РАН (ИЭМ РАН),
г. Черноголовка, Московская область, Россия, kotelnik@iem.ac.ru

²ФГБОУ ВО НИУ «МГСУ», г. Москва, Россия

³ИВуС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

Шунгитовые породы детально изучались в работах [1–3]. Нами проведено исследование составов минералов из шунгитовых и вмещающих пород Максовского месторождения (Заонежье, Южная Карелия) и изучение флюидных включений в кварцах из шунгитов и лидитовых вмещающих пород. На основе этих данных оценены параметры минералогенеза шунгитов Максовского месторождения. Для целей минеральной термометрии были выбраны образцы карбонатно-силикатных пород участка Толвуя-Тетюгино и п. Шуньга. Изучение минералов проводили микрозондовым методом. В изученных образцах найдены следующие минералы: доломит, кальцит, биотит, кварц, апатит, пирит, рутил. В доломите встречены небольшие количества железа и марганца, в кальците содержится до 2 мол. % магнезита. В рутиле есть примеси ванадия (до 3 мас. % V_2O_5), ниобия (до 9,5 мас. % Nb_2O_5), железа (до 4,5 мас. % FeO) и урана (до 2 мас. % UO_2). Биотит представлен фтор-флогопитом. Пересчет на температуры минералогенеза (по кальцит – доломитовому термометру) позволяет дать следующий интервал температур: 350–430 °С. В шунгитовых парагенезисах присутствует фенгит со средним составом $K_{0.58}(Mg_{0.50}Fe_{0.10}Al_{1.58})(Al_{0.62}Si_{3.38})O_{10}[OH]_2$. Давление, оцененное по составам фенгита, составляет 5 ± 1 кбар. Данная величина давления косвенно подтверждается наличием в образцах отдельных кристаллов эпидота, который устойчив при 430 °С при $P \geq 3,5\text{--}4,0$ кбар. В образцах найден хлорит состава $(Mg_{2.58}Fe_{2.14}Al_{1.22})_{5.94}(Al_{1.11}Si_{2.89})_{4.00}$.

$\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (Максово); по его составу оценена $T = 240 \pm 10$ °С. Очевидно, пик метаморфизма фиксировался по кальцит-доломитовому термометру и фенгитовому барометру ($T = 430$ °С; $P = 5 \pm 1$ кбар), а хлориты и флюидные включения фиксировали поздние стадии процесса: $T = 240\text{--}150$ °С; $P < 0,5$ кбар). Для исследования флюидных включений (ФВ) были отобраны кварцсодержащие образцы из углеродсодержащих пород района п. Толвуя. Это были образцы из Загогинского карьера (кварц и антраксолит); из Максковского карьера (жильный кварц) и участка Толвуя-Тетюгино (окварцованный лидит). Во всех образцах были проведены микрометрические исследования ФВ в кварцах. Показано, что эти включения представлены типами Ж и Г+Ж. Температуры гомогенизации (в жидкость) варьируют в пределах от 65 до 350 °С. Концентрация соли во ФВ (NaCl-экв.) варьирует от 0,9 до 10–16 мас. %. Расчетная плотность флюида составляет от 0,6 до 0,92–0,96 г/см³. Изучение флюидных включений показало относительно невысокую температуру их образования ~100–150 °С, а наличие сингенетичных типов включений Г+Ж и Ж косвенно свидетельствует об образовании их из расслоенного флюида.

Очевидно, что пик метаморфизма шунгитовых пород фиксировался по кальцит-доломитовому термометру и фенгитовому барометру ($T = 430$ °С; $P = 5 \pm 1$ кбар), а хлориты и флюидные включения фиксировали поздние стадии процесса ($T = 240\text{--}150$ °С; $P < 0,5$ кбар).

Состав шунгитового вещества исследовали различными методами. Шунгитовые породы содержат достаточно много углеродного вещества – до 45 мас. %. Силикатная составляющая пересчитана по методу CIPW на нормативные минералы. Показано, что она представлена, в среднем (пересчет на 100 %) следующими минералами: кварц (75,3 %); полевые шпаты (13,7 %); корунд (4,2 %); ортопироксен (2,4 %); гематит (2,2 %); рутил (0,4 %); апатит (0,3 %); пирит (1,4 %). В полевошпатовой компоненте доминирует ортоклаз: $\text{Ort}/\text{Ab} \approx 30$. По соотношению элементов-модификаторов ($\text{Fe}^{2+} + \text{Mn} + \text{Mg} + \text{Ca} + \text{Na} + \text{K}$) к каркасообразующим элементам ($\text{Si} + \text{Ti} + \text{Al} + \text{Fe}^{3+}$) шунгиты близки к метаморфизированным кварцитам. Для шунгитов эта величина равна 0,057, для

кварцитов $\sim 0,06$. Состав углеродистой компоненты шунгитов следующий (мас. %): C – 82,42; O – 7,75; Na – 0,37; S – 0,37; Cl – 0,04; K – 0,07; V – 0,94; Fe – 0,04; Mo – 0,15. Обращают на себя внимание значительные концентрации молибдена и ванадия – элементов биотических комплексов. Максовские шунгиты обогащены (относительно кларков земной коры) следующими элементами: V(2,3); Cr(1,1); Ni(3,0); Cu(3,2); Zn(1,9); As(94); Mo(7,8); Cd(8,8); Sn(1,2); Au(11,7); Pb(1,6); U(3,8) – в скобках указано отношение содержания элемента в шунгитах к его кларковому значению (CiSh/CiKlk). По спектрам нормированных редкоземельных элементов [2] шунгиты относятся к существенно дифференцированным породам: соотношение (La+Ce)/(Yb+Lu) в них составляет ~ 37 ; в то время как для: гранитов – 32; сиенитов – 29; кварцитов – 24; кларков земной коры – 23; N-MORB – 2,9; E-MORB – 8; хондрита C1 – 4,3. Минеральный состав массивных шунгитов Максовского карьера разнообразен. Из силикатов и алюмосиликатов встречены кварц, рутил, титанит, мусковит, калиевый полевой шпат, фенгит, эпидот, алланит. Фосфаты представлены апатитом и монацитом. Наиболее разнообразны рудные минералы группы сульфидов: пирит, пирротин, халькопирит, пентландит, мышьяк-содержащий пирит, сфалерит, сульфоселенид свинца.

Под воздействием метеорных вод, насыщенных кислородом, происходит окисление сульфидов, с образованием серной кислоты: $\text{FeS}_2 + \text{H}_2\text{O} + 3,5\text{O}_2 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$. В дальнейшем происходит окисление $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ и из водных растворов высаживается минерал ярозит: $\text{K}^+\text{aq} + \text{Fe}^{3+}\text{aq} + 2\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{KFe}(\text{SO}_4)_2\downarrow$. Желтые рыхлые массы ярозита встречаются практически во всех озерах и лужах Максовского карьера. Одновременно кислота действует на другие сульфиды, в результате чего такие элементы как Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As переходят в водную фазу. Также воздействию кислот подвержены такие минералы, как аланит и монацит, содержащие редкоземельные элементы. Поэтому природные воды обогащены РЗЭ. Нами проведен анализ поверхностных вод шунгитовых месторождений методами AAS, ICP-MS. Показано, что содержания ряда элементов (Li, Be, Mg, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Tl, Pb, U) в поверхностных водах Максовского карьера

превышают предельно допустимые концентрации. В водах Максовского месторождения установлено превышение ПДК для Li (7); Be (3); Mg(2); Ti (5); Cr (4,5); Mn (63); Fe (460); Co (4,5); Ni (370); Cu (175); Zn (520); Cd (17,5); Tl (32); Pb (1,5); U (30) – в скобках приведено соотношение $c_i/(ПДК)$.

Экспериментально изучены процессы выщелачивания литофильных, сидерофильных и халькофильных элементов из шунгитов. Оценено влияние температуры, кислотности среды и потенциала кислорода на гидролитическую устойчивость шунгитов. Показана корреляция состава шунгита и составов поверхностных вод Максовского месторождения.

Выводы

1. Изучен фазовый и химический состав шунгитовых пород Максовского карьера, показано высокое минеральное разнообразие минеральных фаз.

2. Изучен состав природных вод Максовского карьера, показано превышение ПДК по редким и тяжелым металлам, железу, марганцу и урану.

3. Проведены опыты по моделированию процессов гидролитического выщелачивания шунгитового вещества. Показано сходство опытного процесса с природным выщелачиванием.

Работа выполнена в рамках программы НИР ИЭМ РАН АААА-А18-118020590150-6

Литература

1. Филиппов М. М., Бискэ Н. С., Дейнес Ю. Е., Первунина А. В., Кулешевич Л. В., Винокуров Ю. Н., Моторина Р. С. Отчет о научно-исследовательской работе по теме № 205 «Геология, минералогия и технология шунгитовых пород. Раздел №1 «Научное обоснование прогноза крупных месторождений высокоуглеродистых пород в Онежской структуре. Петрозаводск. 2017. 166 с.

2. Садовничий Р. В. Минералого-технологические особенности шунгитовых пород максовского месторождения (Забогинское рудное поле). Диссерт. на соиск. уч. степ. кандидата геолого- минералогических наук, Петрозаводск, 2016. 137 с.

3. Филиппов М. М., Дейнес Ю. Е. Субпластовый тип месторождений шунгитов Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2018. 261 с.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ТОЛЩ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ АЙТЫМ (УЗБЕКИСТАН)

Мовланов Ж. Ж.¹, Каршиев А. Б.², Абдуллаев Л. А.³

¹*Университет геологический наук, Центр геоинновационных технологий, г. Ташкент, Узбекистан, jahongir79@mail.ru*

²*ГП «Кызылкумгеология», г. Зарафшан, Узбекистан*

³*ГУ «Институт минеральных ресурсов», г. Ташкент, Узбекистан*

Прогнозно-перспективная площадь Айтым расположена в Центральных Кызылкумах, в юго-западной части Букантауских возвышенностей в пределах Аякашинской брахиантиклинали. Административно относится к Учкудукскому району Навоийской области.

Площадь Айтым сложена осадочно-метаморфическими образованиями коксайской свиты, представленной кварцево-серицитными сланцами, металавролитами и метапесчаниками. Простирание пород северо-восточное, падение крутое южное. Породы интенсивно динамометаморфизованы с широким проявлением зон дробления также северо-восточного направления.

На площади исследования выявлены несколько рудопроявлений, точек минерализации, многочисленные комплексные ореолы (золото, серебро, медь, мышьяк и др.) интенсивностью от 0,005 до 0,09 г/т и одно мелкое одноименное месторождение.

Месторождение относится к золото-кварцевому рудно-формационному типу и представлено несколькими кварц-золоторудными телами, локализованными внутри зон дробления и метасоматических изменений (окварцевание, сульфидизация и каолинизациях) пород.

Рудные тела представлены кварцевыми жилами и сопровождающими их зонами окварцевания. Мощность кварцевых жил колеблется в широких пределах, достигая в раздувах 6 см. Протяженность их от первых метров до 130 см. Содержания золота от следов до у.е. 0,0166 % в отдельных пробах. На глубину содержания прослежено по отдельным рудным телам на 30–70 м. Кварцево-

жильные золоторудные образования сопровождаются сульфидной минерализацией, в основном пиритом кубической и пентаген-додекаэдрической форм, в меньшем количестве арсенопиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом и блеклой рудами. Общее количество сульфидов не превышает 5 %. Золоту сопутствуют серебро (у.е. до 0,027 %), медь, свинец, цинк, мышьяк, сурьма. Золото свободное концентрируется как в кварце, так и в пирите, заполняя в последнем трещинки и поры. Небольшие концентрации золота приурочены к участкам сульфидизации.

С целью изучения вещественного состава и минералогических особенностей углеродсодержащих толщ площади были отобраны пробы руды, из обломочных материалов гидротермально измененных окисленных пород – черных и углеродистых сланцев.

Кварц гидротермального происхождения находится во вмещающей породе в виде мелкозернистых образований в ассоциации с серицитом, карбонатами и сульфидами основной стадии рудообразования. В составе пробы присутствуют включения жильного кварца. Он имеет многочисленные сульфидные поры выщелачивания, которые частично заполнены гидрооксидами железа. Также наблюдаются катаклазированные трещины, которые заполнены углеродистым сланцем и поздними кварцевыми прожилками с сульфидами.

Встречаются рудные минералы: самородное золото, самородное серебро, самородная медь, самородное железо, пирит, арсенопирит, халькопирит, халькозин, ковеллин, сфалерит, галенит, блеклая руды, штернбергит, стефанит и др.

Золото является тонкодисперсным; минеральная форма – самородная и в виде электрума. Основными носителями золота являются сфалерит и углеродистое вещество. Размер от 0,0048 мм до 0,024 мм. Форма выделений: овальная, прожилковая, фигурная.

Самородное серебро по результатам электронного микрозондирования имеет примеси Cu – 0,68 %; Zn – 0,64 %; Fe – 1,52 %; S – 0,78 %.

Самородная медь в сростке пирита неправильной формы. По результатам электронного микрозондирования в химическом составе серебра имеются примеси Fe – 0,67 %; Ag – 0,49 %.

Пирит образует тонкие, крупные вкрапленники, гнезда, секущие и прослойные прожилки с арсенопиритом. Размер зерен от 0,0025 мм до 0,175 мм.

Арсенопирит образуют тесные, взаимные сростки с пиритом. Так же, как и пирит имеет тонкие включения штернбергита, сфалерита, халькопирит и блеклой руды. Размер зерен от 0,02 мм до 0,1 мм. Форма кристаллов – призматические с ромбическим. Структура минерала идиоморфно и реже гипидиоморфно зернистая.

Полиметаллические минералы – характерны для поздней золото-полисульфидной парагенетической ассоциации. Состоят в основном из халькопирита, сфалерита, галенита, блеклой руды и др. минералы.

Сфалерит в сростке с самородного золота, в пирите и блеклой руде. Размер зерен 0,01–0,0375 мм. По результатам электронного микрозондирования в химическом составе сфалерите имеются примеси Cu – 4,54 %; Fe – 5,96 %; Cd – 2,02 %.

Халькопирит встречается в кубической, пентагондодекаэдрической и неправильной форм. Размер от 0,01 мм до 0,07 мм.

Штернбергит в сростке пирита. Формы – овальная, и неправильная. Размер от 0,01 мм до 0,0375 мм. По результатам электронного микрозондирования в химическом составе имеются примеси Cu – 1,17 %; Zn – 1,16 %.

Вторичные рудные минералы: гидроксиды железа – гематит, гетит, глет и др. Развиты слабо.

Выводы. Минералогический облик площади Айтым представляют самородное золото, самородное серебро, самородная медь и самородное железо. В пробах имеются включения рудных минералов – пирит, арсенопирит, халькопирит, халькозин, ковеллин, сфалерит, галенит, блеклая руда, штернбергит и стефанит. Пробы имеют включения нерудных рудных минералов – кварца, полевых шпатов, карбонатов, серицита, хлорита и углеродистых веществ. Акцессорные минералы представлены апатитом, баритом, бёдантитом, рутилом, моноцитом, неодимистый моноцитом и ксенотимом.

Литература

1. Хайдаров З. Х., Рахимов Б. З., Авазов Р. Р., Мирусманов М. А. Поисковые предпосылки и признаки золотого оруденения месторождения Айтым (горы Букантау) // Молодой ученый. – 2017. – №16. – С. 209–213.

2. Расулова А. В. Геохимические особенности углеродсодержащих толщ отдельных объектов Узбекистана // Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли республики Узбекистан, Материалы Международной научно-технической конференции 19 августа 2016 г., Ташкент, ГП «ИМР». – С. 124–127.

3. Цой В. Д., Королева И. В., Алимов Ш. П., Расулова А. В., Сайитов С. С., Силаев В. И. Минералого-геохимические особенности углеродсодержащих толщ Западного Узбекистана // Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли республики Узбекистан, Материалы Международной научно-технической конференции 19 августа 2016 г., Ташкент, ГП «ИМР». – С. 179–184.

**LITHOGEOCHEMICAL FACTORS AND
PETROPHYSICAL PROPERTIES OF THE SHUNGITE-
BEARING ROCK IN THE CONTACT EPIGENESIS ZONE
FOR QUALITY ASSESSMENT OF RAW MATERIAL,
MAKSOVO DEPOSIT KARELIA**

Pervunina A. V., Myasnikova O. V.

*Institute of Geology, Karelian Research Centre, RAS, Petrozavodsk,
Russia, aelita@krc.karelia.ru*

The goal of the project is to study shungite-bearing (organic-rich rocks – C_{org} 35–45 %, organosiliceous) rock of the Maksovo deposit, North Onega basin in SE Fennoscandian Shield, Karelian Province. It is confined to the one of shungite-bearing rock horizon in Zaonega formation, Ludicovian system of the early Palaeoproterozoic formation. C_{org} -rich rock consists mainly of crystalline silica and free carbon in the form of shungite [1]. The Maksovo deposit consists of layered, massive and brecciated varieties of Carbon-rich rock, sometimes with amygdaloidal zonal aggregates filled with quartz and pyrobitumen. Its distinctive structural feature is the presence of variably thick gabbro-dolerite sills in the central and western parts of deposit. Of special interest is analysis of the petrophysical properties of rocks from the upper exocontact zone of the subsheeted portion of the sill and comparison the various structural rock varieties of the deposit. Layered varieties occur at the base of the deposit and in its wedging-out zones. Massive varieties of organosiliceous rock are abundant in the central portion of the deposit. These dark-grey to black-coloured consolidated rocks with a concholidal fracture are a natural composite matter containing evenly distributed highly dispersed crystalline silicate particles in amorphous carbon matrix. The rocks are composed of shungitic carbon, sericite and quartz; K-felspar, chlorite and finely disseminated sulphide (most commonly pyrite) are less abundant (Fig. 1 a, b). Brecciated varieties of organosiliceous rock, making up about 54 % of the deposit, prevail at the erosion section level. The rocks consist dominantly of

quartz-shungite breccia similar in mineral composition to massive organosiliceous rock. Angular clasts consist of massive and fractured organosiliceous rock. The matrix is locally silicified. Dispersed shungite matter (SM) aureoles surround some of the clasts. The boundaries between massive and brecciated rocks are well-defined.

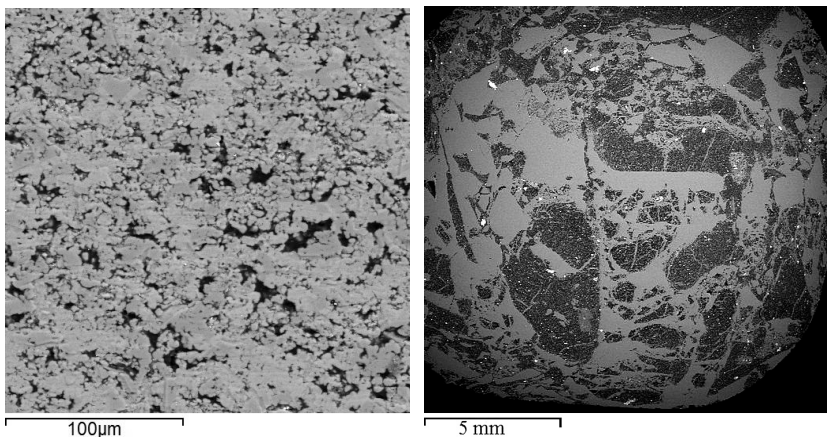


Fig. 1. Carbon-rich rock varieties of the Maksovo deposit:

a – quartz-carbon-sericite matrix of massive-textured organosiliceous rock; b – brecciated-textured organosiliceous rock. The fragments consist of massive carbon-rich rock that occasionally contains sericite and pyrite. The matrix comprises aggregates of quartz-shungite composition; pyrobitumen and schlieren pyrite dissemination occur

Occurring in the zone where gabbro-dolerites intrude into the carbon-rich rocks of the deposit are near-contact alterations triggered by the long-functioning heat sources of sheet intrusion [2]. The *in situ* study of the contact has revealed a ~2.5 m thick coke zone in organosiliceous rock of deposit. The zone adjacent to the contact contains unconsolidated rocks showing a vesicularis texture and polished surfaces along which SM films evolve. In the exocontact zone, organosiliceous rock display a characteristic prismatic cleavage oriented perpendicular to the surface of contact. The prisms are occasionally contorted, forming sheaf-like aggregates, and are oriented chaotically to the contact line.

The structural-textural characteristics and composition of organosiliceous rock from the upper exocontact zone are highly variable. Microprobe study has shown that the rocks consist of free carbon (up to 50 %), as well as quartz and sericite (up to 25 %), biotite, chlorites, pyrite, rutile, fluorapatite and sometimes K-feldspar. Organosiliceous rock with macropismatic cleavage exhibit colloform and fluidal structures. Organosiliceous rock with prismatic cleavage have a well-developed micropore system. Their free carbon content declines to 10%, the amount of quartz and sericite increases, and quartz-sericite veinlets with ore mineralization are occasionally encountered.

In massive and brecciated rocks, total $C_{org.}$ and SiO_2 is usually about 85 %; Al_2O_3 – 3.5–5 % (sericite); Fe_2O_3 – 1.40–2.70 % (chlorite); S – 1,4–2,3 % (pyrite); 1–2 % each of K_2O , CaO and MgO and 1–2 % – other elements. Analysis of the petrochemical composition of various textural rock varieties from the deposit has revealed the following characteristics: brecciated rocks contain less iron and the volatiles C, P (P_2O_5) than massive rocks and more SiO_2 . In the exocontact zone Al_2O_3 , MgO and volatile concentrations are higher and SiO_2 is lower than those of massive organosiliceous rock varieties.

Analysis of the petrophysical properties of the rocks has shown that they are strong. Brecciated organosiliceous rock display higher strength values and the strength limit upon uniaxial compression and lower water absorption and total porosity values than those of massive varieties. This seems to be due to intense matrix silicification in brecciated rocks; as a result, the rock becomes more monolithic. The rock composed dominantly of quartz displays a debser structure and contains smaller quantities of microfractures, caverns and other structural dislocations. Therefore, its porosity is lower. Massive organosiliceous rock display higher water absorption (2.3 times those of a brecciated variety) and total porosity (4 times that of brecciated-textured rocks) values, indicating the internal heterogeneity of their structure (pores, microfractures and caverns) and decreases their strength index. In the excontact zone, rock density decreases due to the presence of cavities and pores unfilled with mineral matter in comparison with massive and brecciated varieties. Coarse cleavage prisms display strength anisotropy (coefficient of anisotropy is 46%), which is due to structural heterogeneity.

Mineralogical and petrophysical studies have indicated that the properties of organosiliceous rock of the upper exocontact zone vary throughout the deposit. A mechanical effect and the thermal conditions produced by the intrusion of gabbro-dolerites into the variably lithified rocks of the Maksovo deposit contributed to variations in the structural and textural properties and petrophysical characteristics of organosiliceous.

The studies conducted under a state assignment of the KarRC, RAS were funded from the federal budget.

References

1. Kovalevski V. V., Buseck, P. R., Cowley J. M. Comparison of carbon in shungite rocks to other natural carbons: An X-ray and TEM study // Carbon. V. 39, Issue 2. 2001. P. 243–256.
2. Ivanov Yu. A., Myasnikova I. P. New aspects of the northern Siberian Platform's oil and gas potential // Geologiya nefi i gaza. 2000. No 3.

**Физико-химические свойства
углеродистого вещества
и шунгитовых пород
и их преобразование
под влиянием природных
и техногенных факторов**

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ РАМАНОВСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУНГИТОВ И МЕТААНТРАЦИТОВ КОНТАКТОВО-ТЕРМАЛЬНОГО МЕТАМОРФИЗМА

Бискэ Н. С.

*Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия,
nataliabiske@yandex.ru*

Проведено сопоставление спектроскопических особенностей шунгитовых пород палеопротерозойской Онежской структуры [1] и мета(термо)антрацитов термально-контактового метаморфизма палеозоя Северо-Востока и Восточной Сибири [2]. В отличие от последних шунгиты испытали региональный метаморфизм в условиях серицит-хлоритовой субфации фации зеленых сланцев [1].

Рамановские спектры получены на дисперсионном спектрометре Nicolet Almega XP (Thermo Scientific), совмещенном с бифокальным микроскопом Olympus BX51 (Институт геологии Карельского НЦ РАН, аналитик В.А. Колодей). Условия съемки: объектив кратностью 50х, 100х; разрешение прибора ~ 1 мкм; длина волны возбуждающего He-Ne лазера 532 нм; мощность не более 20 мВт; время накопления спектра 300 с, число повторений 10. Математическую обработку спектров производили с помощью программного обеспечения «Omnis». Отнесение полученных линий различным колебаниям графитоподобного углерода осуществлялось с использованием литературных данных [3]. После разложения спектров определяли волновое число (рамановский сдвиг), высоту (H), ширину на половине высоты максимума (FWHM) и рассчитывали соотношения пиковых интенсивностей.

В целях сопоставления был использован комплекс спектральных характеристик, включающий позицию и полуширину основных линий спектра G (графитовая) и D (беспорядка), а также соотношения полуширин FWHMD1/FWHMG и пиковых интенсивностей линий D1/G; D2/G; D3/G; D4/G; S1/S2.

После разложения спектров для большей части проанализированных проб в области рассеяния первого порядка ($1,100\text{--}1,800\text{ см}^{-1}$) получены две широкие интенсивные полосы G (графитовая)

на $1582\text{--}1607\text{ см}^{-1}$ и D1 (дефектов) на $1344\text{--}1357\text{ см}^{-1}$, а также три дополнительных пика «дефектов»: D2 в виде плеча на пике G, D3 ($\sim 1510\text{ см}^{-1}$) и D4 ($1152\text{--}1214\text{ см}^{-1}$).

Появление линий D1 и D2 связано с наличием дефектов на краях и внутри графеновых плоскостей. Пик D2 в ряде проб маскируется широкой полосой G. Обычно очень широкий пик D3 обусловлен наличием в структуре неупорядоченностей в виде аморфного углерода. Пик D4 указывает на присутствие углеродных связей sp^3 .

В области рассеяния второго порядка ($2350\text{--}3350\text{ см}^{-1}$) основными линиями являются S1 ($\sim 2700\text{ см}^{-1}$) и S2 ($\sim 2900\text{ см}^{-1}$). Наибольший интерес представляет полоса на $\sim 2700\text{ см}^{-1}$, интенсивность которой отражает взаимодействие между слоями углерода.

Характерной особенностью спектров мета(термо)антрацитов, образовавшихся в контактах угольных пластов с мощными (свыше 200 м) трапповыми интрузиями, служит резкое превышение интенсивности полосы беспорядка D1 относительно графитовой полосы: ($D1/G > 2$). При этом полуширина полосы G с максимумом на $1598\text{--}1601\text{ см}^{-1}$ варьирует от 49 до 58 см^{-1} ; полуширина полосы D1 ($1349\text{--}1357\text{ см}^{-1}$) соответственно от 52 до 66 см^{-1} . Постоянно присутствуют дополнительные полосы «беспорядка»: $D2/G = 0,34\text{--}0,43$; $D3/G = 0,10\text{--}0,20$ и $D4/G = 0,06\text{--}0,07$. В области спектра второго порядка слабая полоса с центром на $\sim 2700\text{ см}^{-1}$ по интенсивности превышает полосу с центром на $\sim 2900\text{ см}^{-1}$.

Однако, в спектрах метаантрацитов из контакта с магматическими телами малой мощности пик D2 обычно маскируется широкой полосой G, а полоса на $\sim 2700\text{ см}^{-1}$ равна или уступает по интенсивности полосе на $\sim 2900\text{ см}^{-1}$.

В спектрах шунгитов [4] превышение полосы D1 (1352 см^{-1} , $\text{FWHM} = 51\text{ см}^{-1}$) относительно полосы G (1590 см^{-1} ; $\text{FWHM} = 45\text{ см}^{-1}$) существенно менее резкое ($D1/G = 1,53$), чем в спектрах метаантрацитов.

Для шунгитов получены следующие значения спектральных характеристик: $D2/G = 0,34$; $D3/G = 0,05$; $D4/G = 0,02$; $S1/S2 = 2,1$.

Сравнительный анализ параметров шунгитов и метаантрацитов контактового метаморфизма демонстрирует существенно более высокое структурное совершенство шунгитов. Особенно резко оно проявляется при сопоставлении таких параметров, как D1/G и S1/S2, связанных с размером и взаимодействием графеновых слоев.

Литература

1. Атлас текстур и структур шунгитоносных пород Онежского синклинория / Ред. М. М. Филиппов, В. А. Мележик. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. 80 с.

2. Бискэ Н. С. Изучение методом рамановской спектроскопии структуры антрацитов, метаантрацитов и угольных графитов. Материалы V научно-практической конференции, посвященной 45-летию ГИ СОРАН «Геодинамика и минерагения Северной и Центральной Азии». Улан-Удэ. Изд-во Бурятского госуниверситета, 2018. С. 65–67.

3. Ferrari A. C., Robertson J. Interpretation of Raman spectra of disorderes and amorphous carbon. // Physical review B, 2000, v. 61, No 20, pp. 14095–14107.

4. Бискэ Н. С. Биогенные микроструктуры в шунгитовых породах Карелии // Труды КарНЦ РАН. 2017, № 2. doi: 10.17076/geo 318.

**Научно-технологические аспекты
применения шунгитовых пород
в крупнотоннажных производствах
(металлургия, строительство,
сельское хозяйство, шины,
резинотехнические изделия,
химический комплекс и др.)**

АДСОРБЕНТ МИКОТОКСИНОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ШУНГИТА В КОРМЛЕНИИ ПРОДУКТИВНЫХ ЖИВОТНЫХ

Алимпиев С. В.¹, Засорин А. В.², Зубков Д. Г.², Кирилюк С. Д.¹

¹ООО «Фонд развития шунгитовых технологий»,
г. Петрозаводск, Россия

²ООО «Карельская инвестиционная компания «РБК»,
г. Петрозаводск, Россия, zubkov@rbk.karelia.ru

В последнее время теме зараженности кормов для продуктивных животных ксенобиотиками уделяется большое внимание. Особенно остро стоит проблема контроля и профилактики контаминации вторичными метаболитами плесневых грибов (т. н. микотоксинами), ущерб от которых для производителей животноводческой продукции исчисляется миллионами рублей ежегодно. В отрасли уже сложились ставшие стандартными методы борьбы с микотоксинами, основанные на применении комплексных препаратов – адсорбентов [1]. Признанные лидеры рынка («Алтек» – США, «Биомин» – Австрия, «Сиббиофарм» – Россия и другие) включают в состав адсорбентов от 4 до 10 компонентов, действие которых направлено на ингибирование различных по своим физическим и химическим характеристикам токсинов. На рынке сложилось устойчивое мнение специалистов о том, что только многокомпонентные адсорбенты способны эффективно связывать микотоксины в условиях переменной кислотности желудочно-кишечного тракта животных.

В течение трех лет нашей компанией получены положительные результаты лабораторных исследований и промышленных экспериментов по применению однокомпонентной кормовой добавки «МУСТАЛА»®, производимой на основе модифицированного шунгита Зажогинского месторождения III типа (Республика Карелия). Добавка показала свою эффективность для профилактики и снятия микотоксикозов: эффективная нейтрализация микотоксинов (истинная сорбция) по афлатоксину В1 составляет не менее 99%, охратоксину – 100 %, Т-2 токсину – 81 %, ДОНу – 84 %, зеараленону – 100 % и фумонизину – 95 %.

Совместно со специалистами Института физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина (г. Москва) в 2021 году был исследован и объективно установлен механизм нейтрализации наиболее сложного микотоксина Т-2: крупная молекула токсина молярной массой 467 ед. на поверхности в течение 10 минут распалась на большое количество мелких нетоксичных молекул.

Эксперименты в условиях животноводческих предприятий также показали, что однокомпонентная кормовая добавка «МУСТАЛА»® дополнительно обеспечивает:

1. эффект подкислителя:

- снижение кислотосвязывающей способности комбикормов;
- подавление развития патогенных микроорганизмов в кормах (*E.coli* и *Salmonella*);
- пролонгированное бактерицидное действие за счет снижения pH.

2. эффект пребиотика:

- стимулирование роста численности полезных молочнокислых бактерий и бифидобактерий;
- изменение физических характеристик поверхностных рецепторов клеток в кишечнике;
- укрепление целостности кишечника.

Таким образом, комплексное действие «МУСТАЛА»® состоит в улучшении конверсии корма, усилению активностей пищеварительных и кормовых ферментов, пребиотиков и подкислителей, повышению иммунитета животных и птицы.

Литература

1. Крюков В. С. Эволюция адсорбентов микотоксинов // РацВет Информ № 5 (153). 2014. С. 32–36.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ШИННЫХ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ С ПОВЫШЕННОЙ ДОЗИРОВКОЙ ШУНГИТА

**Бобров А. П.¹, Потапов Е. Э.¹, Резниченко С. В.¹,
Мирошников Ю. П.¹, Алимпиев С. В.²**

¹*ПТУ-МИРЭА, г. Москва, Россия, apbobrov@gmail.com*

²*ООО «Надвоицкий завод ТДМ», г. Петрозаводск, Россия*

В последние годы все большее внимание уделяется использованию в резиновых смесях минеральных наполнителей в шинной и резинотехнической промышленности. Это позволяет снизить потребление дорогостоящего сырья, получаемого из нефтехимических источников, снизить энергетические затраты и улучшить экологию производственных процессов.

В этом отношении весьма интересным ингредиентом является природное минеральное соединение – шунгит, который представляет собой комплексное соединение алюмосиликатов, оксида кремния, оксидов различных металлов и некоторых органических соединений.

Ранее было показано [1, 2], что низкие значения величин межфазного натяжения в системе «каучук-шунгит», высокая смачиваемость шунгита средой эластомера, наличие в шунгите природных пластификаторов (гуминовые кислоты) должны привести к тому, что суммарные энергозатраты на производство маточных смесей с высоким содержанием шунгита (более 100 масс.ч.) и последующее их введение в состав резиновых смесей в повышенных дозировках, из расчёта на количество шунгита, будут существенно меньше, чем при непосредственном введении шунгита в процессе изготовления резиновых смесей.

В данной работе на первом этапе в лабораторных условиях готовили маточные смеси на основе каучука СКМС-30-АРКМ-15 с добавлением шунгита в количестве 50, 100, 150, 200, 250 и 300 масс.ч. на 100 масс.ч. каучука. Определяли широкий спектр пласто-эластических характеристик на приборе RPA-2000 (минимальный и максимальных крутящий момент, показатель обрабатываемости смеси, эффект Пейна и др.).

Показано, что с увеличением дозировки вводимого в маточную смесь шунгита увеличивается эффект Пейна, а, следовательно, повышается вероятность образования пространственной сетки шунгита.

На втором этапе работы в заводских условиях был изготовлен ряд маточных смесей на основе каучука СКМС-30-АРКМ-15 с различным содержанием шунгита и технологическими добавками для предотвращения «шубления» резиновой смеси. Был выбран оптимальный состав маточной смеси: 100 масс.ч. каучука, 100 масс.ч. шунгита и 0,5 масс.ч. бензойной кислоты. Показано, что в ведение шунгита в повышенных дозировках через маточную смесь, как в случае протекторных резиновых смесей, так и в случае каркасных приводит к снижению вязкости смеси, повышению степени диспергирования шунгита и уменьшению размеров его агломератов. Улучшаются также физико-механические показатели вулканизатов.

Были изготовлены опытные партии трех моделей грузовых шин с применением в протекторе и каркасе маточной смеси. Проведены стендовые испытания шин по работоспособности (пройденный километраж) и по определению максимальной скорости.

Полученные показатели данных шин уложились в установленные нормативы. Физико-механические показатели таких шин, в том числе, прочность связи в слоях при расслоении, также соответствует нормам контроля.

Предлагаемая технология изготовления автомобильных шин с применением маточной смеси с шунгитом была успешно освоена в серийном производстве с экономическим эффектом.

Литература

1. Poldyshov M. A., Miroshnicov J. P., Potapov E. E. et al. Assestent of interaction of the schungite / elastomere Bonndary // Jnt. Polym. Sci. and Technol. 2014. N 3. P. 33.
2. Потапов Е. Э., Бобров А. П., Каблов В. Ф. и др. Изучение абразивной активности природных минеральных углеродсодержащих соединений-ингредиентов полимерных композиционных материалов // Каучук и резина. 2015. № 1. С. 20.

БИОРЕГУЛЯТОРЫ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛА ШУНГИТ В КОРМЛЕНИИ ЖИВОТНЫХ

Боголюбова Н. В., Романов В. Н., Мишуров А. В., Рыков Р. А.

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр животноводства –
ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста»
(ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста)», г. Подольск, Россия,
652202@mail.ru*

Правильная организация кормления высокопродуктивных животных с обеспечением соответствующего уровня питания организма достаточным уровнем энергии, питательных, минеральных, биологически активных веществ является решающим фактором в реализации генетически заложенного потенциала продуктивности. Однако в практике современного животноводства допускается использование рационов, несбалансированных по основным питательным веществам, скармливание недоброкачественных и загрязненных кормов веществами различного происхождения, несущих в своем составе ксенобиотики (пестициды, нитраты, диоксины и др.) [1], что может приводить к нарушениям пищеварительных и обменных процессов, интоксикации организма, ухудшению функциональной деятельности печени. Появляется необходимость использования способов связывания и выведения из организма животных экзо- и эндотоксинов, улучшения метаболических процессов, снижения нежелательных нагрузок на печень. Перспективным является направление исследовательских работ по изучению минеральных добавок-биорегуляторов многофункционального действия, как то метаболического, иммунологического, пребиотического профиля, адсорбента ксенобиотиков и антипитательных веществ [2].

Одним из перспективных природных минеральных веществ является минерал шунгит, который, состоящий из аморфной углеродной матрицы, равномерно заполненной высокодисперсными кристаллическими частицами силикатных минералов. Основные месторождения шунгита в Российской Федерации и их

промышленная разработка находятся, главным образом, в Карелии. Широко известен шунгит Зажогинского месторождения, в составе которого 30 % углерода и 65 % минеральных веществ в виде окисей более 20 макро- и микроэлементов. Углеродная часть в минерале шунгит представлена в оригинальной шунгитовой, фуллереноподобной форме, представляющей собой полые глобулярные лукоподобные молекулярные сферические образования. К настоящему времени открыт ряд полезных свойств минерала, связанных с его фуллереноподобной структурой. Установлено, что шунгитовый углерод является антиоксидантом, многократно более эффективным, чем витамины Е и С, благодаря другому механизму действия [3, 4, 5].

Установлено антитоксическое, противовоспалительное и антигистаминное шунгита, с нормализацией клеточного обмена веществ, повышения иммунитета организма, при высоких адсорбирующих свойствах. Выявлено, что фуллерены, накапливаясь в печени, являясь активными гепатопротекторами, не только защищая ее от токсических воздействий, но и ускоряя нейтрализацию токсинов [6, 7].

Наряду с установленной высокой эффективностью применения минерала, физиологические пути и механизмы его действия, способствующие росту продуктивности, изучены не достаточно [8]. Особый научно-практический интерес представляет использование минерала для оптимизации процессов пищеварения и обменных процессов в организме жвачных животных, с применением в скотоводстве и овцеводстве.

В проведенных физиологических и научно-производственных исследованиях установлено положительное действие комплекса эрготропных соединений в составе минерала шунгит Зажогинского месторождения Карелии на процессы рубцового пищеварения, переваримость и усвоение питательных веществ в желудочно-кишечном тракте, отложение азота в теле, улучшение обменных процессов в организме и функциональной деятельности печени, улучшению функций воспроизводства, росту продуктивности.

Применение в рационах минерала шунгит способствовало у овец увеличению образования ЛЖК в рубце до 17 % ($P < 0,05$),

при снижении концентрации аммиака в рубцовом содержимом до 20,9 %, а также повышению амилалитической активности ферментов до 25,1 %, у коров – увеличению образования ЛЖК на 3,3 %, снижению концентрации аммиака на 25,4 % и повышению амилалитической активности ферментов на 2,6 %. Скармливание минерала шунгит жвачным животным способствовало повышению уровня образования микробальной массы в содержимом рубца на 0,16–1,35 г/100 мл, по сравнению с контролем. Изменение направленности преджелудочного пищеварения способствовало повышению видимой переваримости питательных веществ кормов рационов у овец, – сухого вещества на 1,81–3,48 абс. %, органического вещества – на 1,82–3,57 абс. %, сырого протеина – на 4,0–4,3 абс. % и сырой клетчатки – на 0,92–4,89 абс. %.

Выявлено улучшение азотистого обмена, с повышением белкового резерва в виде белков сыворотки крови на 6,5 % у овец, получавших добавку «Мустала» на основе шунгитового вещества, при повышении альбумино-глобулинового соотношения у опытных овец и телят. Уровень глюкозы в крови овец и телят, потреблявших «Мустала» был выше по сравнению с контрольными животными. Установлено увеличение показателей бактерицидной и фагоцитарной активности сыворотки у опытных овец и бактерицидной активности сыворотки крови опытных телят, что свидетельствует о повышении иммунного статуса организма животных при использовании добавок. Под влиянием скармливания добавок на основе минерала шунгит у телят происходило увеличение концентрации бифидобактерий на 2,6–7,9 %, а также лактозоположительных бактерий на 6,4–17 % в содержимом толстого отдела кишечника, что может свидетельствовать о положительном действии на микробиоценоз пищеварительного тракта.

Введение в рационы минерала шунгит способствовало повышению продуктивности жвачных животных: среднесуточного прироста овец на 11,3–17,1 %, растущего молодняка крупного рогатого скота – на 8,4 %, телят молочного и послемолочного периода выращивания – до 14,1 %, молочной продуктивности коров на 5,4–8,9 %.

На основании полученных результатов исследований получен патент на «Способ регулирования продуктивности жвачных животных» (патент РФ № 2569632).

Литература

1. Алиев А. А. Обмен веществ у жвачных животных / А. А. Алиев. – М.: НИЦ Инженер, 1997. – 420 с.
2. Романов В. Н. Способы оптимизация пищеварительных, обменных процессов и функций печени у молочного скота / В. Н. Романов, Н. В. Боголюбова, М. Г. Чабаев и др. Монография. – Дубровицы, 2015. – 152 с.
3. Калинин Ю. К. Экологический потенциал шунгита. Шунгиты и безопасность жизнедеятельности человека / Ю.К. Калинин // Материалы первой всероссийской научно-практической конференции (3–5 октября 2006 г.). Петрозаводск. – 2007.
4. Мекалова Н. В. Фуллерены в растворах / Н. В. Мекалова – М.: Экзамен, 2001. – 352 с.
5. Мосин О. В. Состав и структурные свойства добываемого в России природного фуллеренсодержащего минерала шунгита/ О. В. Мосин, И. Игнатов // Нанотехнологии. 2012. № 6. С. 17–23.
6. Трemasова А. М. Изменения морфологических и биохимических показателей крови у телят при применении шунгита / А. М. Трemasова // Матер. междунар. научно-практической конф. «Биотехнология: токсикологическая, радиационная и биологическая безопасность». – Казань, 2010 – С. 160–162.
7. Трemasова А. М. Шунгит в ветеринарии / А. М. Трemasова, С. О. Белецкий, М. Я. Трemasов // Журнал «Ветеринария». – 2013. – № 7. – С. 55–57.
8. Трemasова А. М. Фармако-токсикологическое обоснование использования природного минерала шунгит и препаратов на его основе, наносорбентов полисорбин и полисорб в ветеринарии / А. М. Трemasова // Дисс. на соискание ученой степени доктора биол. наук / Казань, – 2014. – 351 с.

СВЧ ОТРАЖАЮЩИЕ И ПОГЛОЩАЮЩИЕ СВОЙСТВА МИКРОСЛОЕВ ШУНГИТОВ

Голубев Е. А.¹, Антонен И. В.², Щеглов В. И.³

¹*Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия,
yevgenyGolubev74@mail.ru*

²*Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар, Россия*

³*Институт радиоэлектроники РАН, Москва, Россия*

Широкое распространение устройств СВЧ-радиоэлектроники делает актуальными исследования в области разработки новых материалов для экранирования СВЧ-излучения. Наиболее актуальными задачами являются уменьшение толщины покрытий экранирующих материалов, максимальные легкость и гибкость, устойчивость к коррозии. Особый интерес вызывают поглощающие материалы, нивелирующие негативное влияние переотражения электромагнитного излучения в помещениях или технических устройствах. В данной работе мы предлагаем результаты изучения отражающих и поглощающих свойств экранирующих материалов на основе микрослоев шунгита в диапазонах частот 8–12 и 26–38 ГГц в зависимости от содержания углерода [1–6].

Изготовленные из цельных кусков пород тонкие (толщиной 10–20 мкм) и гибкие шунгитовые пластины успешно отражают и поглощают электромагнитное излучение в диапазоне содержания углерода от 5 до 95 ат. %. Обнаружено существенное превышение динамической проводимости шунгитовых пластин толщиной 10–20 мкм над статической в диапазоне содержания углерода 5–30 ат. %. Механизмы поглощения в шунгитовых пластинах при содержании углерода 5–34 % не описываются классическими уравнениями электродинамики и, вероятно, связаны с особенностями разупорядоченной структуры шунгитового углерода и микроструктуры горной породы. Результаты исследования показывают, что молекулярная структура шунгитового углерода оказывает влияние прежде всего на отражающие свойства, которые превосходят отражающие свойства от металлов с проводимостью на порядки выше, чем у шунгита. Микроструктура шунгитовой породы

преимущественно контролирует поглощающие свойства. Для модельного описания микроволновых свойств шунгитов использован механизм внутригранулярных токов. Шунгитовые породы можно рассматривать и как сырье для изготовления экранирующих материалов, и как модельную систему для изучения взаимодействия излучения с веществом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ГФЕН Китая в рамках научного проекта № 20-55-53019.

Литература

1. Голубев Е. А., Антонец И. В., Щеглов В. И. Модельные представления микроструктуры, электропроводящих и СВЧ-свойств шунгитов. Сыктывкар: Изд. СыктГУ. 2017. 158 с.
2. Антонец И. В., Голубев Е. А., Шавров В. Г., Щеглов В. И. Динамическая проводимость графеносодержащего шунгита в диапазоне сверх-высоких частот // Письма в ЖТФ. 2018. Т. 44. № 9. С. 12–18.
3. Антонец И. В., Голубев Е. А., Шавров В. Г., Щеглов В. И. Исследование структурных и электрических свойств графеносодержащего шунгита по данным электросиловой спектроскопии. Часть 1. Концентрация углерода // Журнал радиоэлектроники. 2018. № 8. <http://jre.cplire.ru/jre/aug18/5/text.pdf>.
4. Антонец И. В., Голубев Е. А., Шавров В. Г., Щеглов В. И. Исследование структурных и электрических свойств графеносодержащего шунгита по данным электросиловой спектроскопии. Часть 2. Дискретность структуры // Журнал радиоэлектроники. 2018. № 8. <http://jre.cplire.ru/jre/aug18/6/text.pdf>.
5. Антонец И. В., Голубев Е. А., Шавров В. Г., Щеглов В. И. Исследование структурных и электрических свойств графеносодержащего шунгита по данным электросиловой спектроскопии. Часть 3. Интегральная проводимость // Журнал радиоэлектроники. 2018. № 9. <http://jre.cplire.ru/jre/sep18/1/text.pdf>.
6. Golubev Ye. A., Antonets I. V., Shcheglov V. I., Static and dynamic conductivity of nanostructured carbonaceous shungite geomaterials, Mater. Chem. Phys. 226 (2019) 195–203.

ШУНГИТ В СИНЕРГИИ С МИКРООРГАНИЗМАМИ И ФЕРМЕНТАМИ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ УСТОЙЧИВОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА С НУЛЕВЫМИ ОСТАТКАМИ ПЕСТИЦИДОВ

Де Алес Л., Вылку Л., Еремеев Т.

*В.Е.А. ООО (Biotechnologie per Ecologia e l'Agricoltura) Догана,
Сан Марино, Lucezara08@gmail.com*

Сельское хозяйство является основой нашего существования, и в этом году новый вирус, поразивший весь мир, доказал это нам. Если остановится сельское хозяйство никакая промышленность, банк или политика не смогут двигаться вперед. Но что не так с современным сельским хозяйством? Почему мы не всегда получаем желаемые результаты? Потому что в последние годы мы эксплуатировали землю самым ужасным образом, не осознавая ее потребностей. Мы всегда рассматривали почву как неодушевленную вещь, не задумываясь о количестве жизненных и биологических циклах, которые установлены внутри и которые создают отличную гостиницу для наших растений. Благодаря этим циклам и балансам, растения могут производить без проблем. Но когда биологические циклы прерываются и создаются дисбалансы, начинают появляться первые симптомы различных фитопатий. В этот момент вводятся пестициды которые ухудшают ситуацию и в долгосрочной перспективе уже не дают желаемого результата заставляя нас тратить время и деньги.

В.Е.А. Srl из Сан-Марино изучала и создала продукты для сельского хозяйства и окружающей среды способные решать проблемы вызванные непрерывной эксплуатацией земли и загрязнением окружающей среды. Также, создала продукты на основе микроорганизмов и ферментов, способные восстановить баланс в почве. Уже 9 лет, благодаря открытию шунгита и его свойств профессором и научным руководителем Луиджи Де Алесом, продукты обогащаются этим чудесным волшебным камнем, получая впечатляющие результаты на полях.

Синергизм действия между консорциумами микроорганизмов продуцируемых ВЕА и шунгитом позволило контролировать все болезни растений, посредством конкурентного исключения патогенных микроорганизмов, способствуя полезной микробной установили сосуществование с вирусом без ущерба для производства. Что касается насекомых-фитофагов было отмечено резкое сокращение их присутствия, хотя на близлежащих полях они присутствовали в большом количестве и было необходимо вмешаться с пестицидами чтобы спасти культуры.

Было отмечено, что экономия воды для орошения может достигать и превышать 50 %. Фактически, растения и обработанные листья с микроорганизмами и шунгитом поглощают влагу из воздуха в течение ночи, сохраняя ее в качестве полезной воды для растений. Кроме того, шунгит обладает свойством активировать воду. Активировать воду означает разбить кластеры из 500–600 молекул воды на кластеры из 2–10 молекул. Таким образом растение не должно тратить энергию чтобы выполнять ту же работу что возможно с помощью шунгита. Как следствие, также отмечено увеличение урожая и качество культурах. Это связано с тем, что листья рано утром сухие и готовы к фотосинтезу на 2 часа раньше, чем другие необработанные. Это также объясняет увеличение производства и улучшение качества. Все собранные продукты имеют более высокое содержание антиоксидантов и более длительный срок хранения. Собранные продукты имеют длительный срок хранения даже вне холодильника. Продукты не подвергаются воздействию вредных грибков и бактерий, со временем теряют воду и следовательно обезвоживаются.

Еще одним интересным результатом, который был обнаружен, благодаря этой комбинации было быстрое удаление остатков пестицидов на всех культурах. Предположим, что это действие происходит благодаря шунгиту, который поглощает и нейтрализует вредные химические вещества [1], в то время как микроорганизмы используют одни и те же молекулы разлагающие их, чтобы размножаться. Таким образом, мы можем получать продукты с нулевым остатком пестицидов, одновременно не загрязняя окружающую среду.

Шунгит оказывает тепловое воздействие на клетки, избегая их перегрева [1]. Мы также попробовали это действие на разных культурах с разницей в 3–6 °С между обработанными и необработанными растениями.

Другое комбинированное использование шунгит-микроорганизмы – это рыбоводство. Данная комбинация увеличивает процент превращения корма в живую массу, а также предотвращает образование аммиака, уменьшает использование антибиотиков и уменьшает необходимость замены воды.

В стойлах улучшает состояние окружающей среды, из-за чего резко сокращаются заболевания животных. Навоз превращается в компост быстрее, коэффициент конверсии пищи в мясо животных улучшается.



Фото 1. Дыни, зараженные грибом фузариум (*Fusarium oxysporum meloni*), обработанные традиционными методами удобрения и пестицидами



Фото 2. Дыни, выращенные с использованием препаратов ВЕА, содержащие микроорганизмы и шунгит

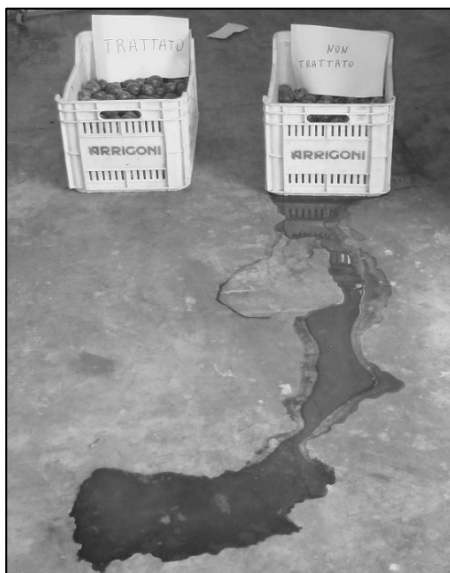
Исходя из вышесказанного, отдельное использование шунгита от микроорганизмов, не позволило бы получить вышеупомянутые результаты, поскольку установлена синергия биотического действия микроорганизмов и абиотического действия шунгита.



Фото 3. Участок виноградного поля, обработанный традиционными методами удобрения и пестицидами



Фото 4. Участок того же виноградного поля, в котором использованы удобрения БЕА, содержащие микроорганизмы и шунгит



Сохранение

Индустриальные помидоры, 20 дней после сбора урожая, при комнатной температуре (23 °C – 35 °C)

- В правом ящике необработанные помидоры
- В левом ящике помидоры, обработанные удобрениями БЕА с микроорганизмами и шунгитом

Литература

1. Regina Martino Shungite. Energia di vita. ED-Enrico Damiani Editore, 2013. – 160 p.

НОВЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ АКТИВАТОР ГРУНТА ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ

Делекторский А. А.¹, Платонова Е. Г.², Бобров А. П.³, Потапов Е. Э.³

¹*ТК 336 «Заземлители и заземляющие устройства различного назначения», г. Москва, Россия, info@tk336.ru*

²*ООО «Ресурсосберегающие Технологии и Системы» (ООО «РСТС»), г. Москва, Россия*

³*ФГУП «Московский Технологический Государственный Университет» МИРЭА, г. Москва, Россия*

В настоящее время в системах электрохимической защиты от коррозии подземных металлических сооружений широко используются различные минеральные активаторы грунтов на основе кокса, в первую очередь коксоминеральный активатор грунтов (КМА).

Основное назначение систематических активаторов грунта, используемых в системах электрохимической защиты от коррозии, – снижение переходного сопротивления анод-грунт (уменьшение сопротивления растяжению анодного тока), увеличение площади токоотдающей поверхности анода и, как следствие, повышение срока службы анодного заземления.

Однако всем синтетическим активаторам грунта присущ один общий существенный недостаток – высокая токсичность компонентов.

Причем, если в случае КМА токсичность определяется в основном токсичностью кокса, то токсичность других определяется содержанием хлоридов гексацианоферрата, солей меди и т. д. В этом случае возникает опасность перехода токсичных соединений в горизонты питьевой воды, хлорирования почв и т. д.

В техническом комитете по стандартизации Росстандарта «Заземлители и заземляющие устройства различного назначения» (ТК 336) разработан и успешно прошел апробацию на предприятиях ПАО «Газпром» новый минеральный активатор грунта на основе модифицированного шунгита, лишенного перечисленных недостатков.

Шунгит – природный органосиликат сложного состава, основными породобразующими минералами, которого являются оксид кремния и углерод. При содержании углерода в шунгите более 30% углерод образует матрицу, в которой равномерно распределены зерна силикатов. Эти две взаимопроникающие структуры придают шунгиту уникальное свойство, дифильность, он одновременно является гидрофобным и гидрофильным материалом.

Шунгит имеет высокую электропроводность, теплопроводность, теплоемкость, диамагнитные свойства, высокую адсорбционную способность и др.

Вышеперечисленные состав и свойства шунгитовых пород предопределили различные направления их использования в народном хозяйстве: в строительстве, очистке воды, медицине, в полимерной технологии и т.д.

Однако наибольшее применение шунгит получил в металлургии при замене кокса.

Как показали исследования, одними из перспективных направлений применения шунгита может стать использование его в качестве минерального активатора грунта в системах ЭХЗ трубопроводного транспорта от коррозии. Для этого существуют все предпосылки:

- высокая электропроводность, обусловленная содержанием углеродной составляющей и ее распределение в минеральной матрице;
- высокая активность в окислительно-восстановительных реакциях, вследствие развитого контакта между активным углеродом и силикатами;
- термодинамическая совместимость с грунтом, песком, щебнем и т. д.;
- безусловная экологическая чистота применения.

Причем, в качестве сырья для минерального активатора можно использовать шунгитовые отходы металлургических производств, которые путем небольшой модификации и соответствующего подбора гранулометрического состава могут с успехом применяться при строительстве анодных заземлений систем электрохимической защиты.

Так при строительстве глубинного анодного заземления чередуя (располагая) в соответствующей последовательности гранулометрические составы шунгитовой засыпки можно направлено регулировать отвод анодных газов и исключить газоотводящую трубку, что значительно упрощает монтаж анодного заземления.

При этом правильный подбор состава шунгитового активатора позволяет обеспечить расчетное переходное электросопротивление на границе активатор-грунт гелеометрического разреза, при прохождении глубинного анодного заземлителя через разные типы грунтов различного состава и структуры.

При использовании шунгитового активатора под днищем резервуаров при защите с использованием традиционных модульных электродов увеличивается равномерность распределения потенциального поля и обеспечивается увеличение срока службы металлических резервуаров за счет исключения возможности образования анодных зон на днище резервуаров. Помимо этого, высокая адсорбционная активность шунгита за счет его высокой микро- и макропористости является дополнительным экологическим барьером на пути разлива нефти и нефтепродуктов в случае перелива при заполнении резервуаров.

Предполагается использование шунгитового активатора при создании новых типов электродов анодного заземления дискретного, модульного и протяженного типов. При этом степень пустотности шунгитового активатора, определяет гибкость протяженного анода, что чрезвычайно необходимо при транспортировке и монтаже анодного заземлителя.

Модифицированный шунгит с заданными параметрами можно использовать при строительстве защитных заземляющих устройств электроустановок, рабочих заземлений, систем молниезащиты, особенно в высокоомных скальных и многолетнемёрзлых грунтах.

РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ ЛУКА НА ВНЕСЕНИЕ В ПОЧВУ ШУНГИТА

Икконен Е. Н.¹, Чаженгина С. Ю.², Сидорова В. В.¹

¹*Институт биологии Карельского научного центра
Российской академии наук, Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН», г. Петрозаводск, Россия,
likkonen@gmail.com*

²*Институт геологии Карельского научного центра
Российской академии наук, Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН», г. Петрозаводск, Россия*

К настоящему времени потенциал использования традиционных минеральных и органических удобрений в значительной степени уже исчерпан. Поэтому для поддержания стабильности сельскохозяйственного производства исследуются новые методы и приемы, позволяющие пусть частично, но заменить дорогостоящие традиционные удобрения. Одним из приемов повышения плодородия почв рассматривается ее реминерализация различными горными породами. В зонах рискованного земледелия, к которым относится практически весь Русский Север, препятствием к устойчивому росту сельского хозяйства является не только нестабильность климата, но и низкое естественное плодородие почвы. Для повышения плодородия северных почв и, следовательно, продуктивности выращиваемых на них культурных растений, экономически целесообразным может быть внедрение удобрений на основе местных минеральных ресурсов. В задачи данного исследования входила оценка влияния внесения в почву шунгита на физиологические процессы (рост, фотосинтез, дыхание, водный обмен) растений лука. Также мы изучали влияние кратковременных изменений температуры и условий увлажнения почвы на отклик растений на внесение в почву шунгита.

Мелкодисперсный (фракция 0,5 мм) шунгит месторождения Жагоино, Карелия, вносили в дерново-подзолистую почву в концентрации 0, 5, 10 и 20 г кг⁻¹. После инкубации почвенных субстратов в течение 90 сут, ими наполняли сосуды, в которые высаживали

луковицы *Allium cepa* L. Растения выращивали в вегетационно-климатических камерах при оптимальных условиях температуры, освещенности и влажности воздуха, но при различной влажности почвы: часть растений поливали регулярно, а другую часть растений выращивали в условиях периодической засухи.

Внесение шунгита увеличивало содержание в почве С, К, Zn и Cu, но не влияло на ее водно-физические свойства, такие как водоудерживающая способность, влажность насыщения и прочие. Недостаток воды в почве снижал скорость роста растений (рис.) и накопление ими элементов питания. Однако шунгит способствовал частичному восстановлению биомассы и содержания элементов (P, Cu, Mn, Zn и Ni) в растениях, выращиваемых в данных условиях. Периодическая засуха снижала скорость фотосинтеза, устьичную проводимость, дыхание листьев, но повышала фотосинтетическую эффективность использования воды (WUE) листьями лука.

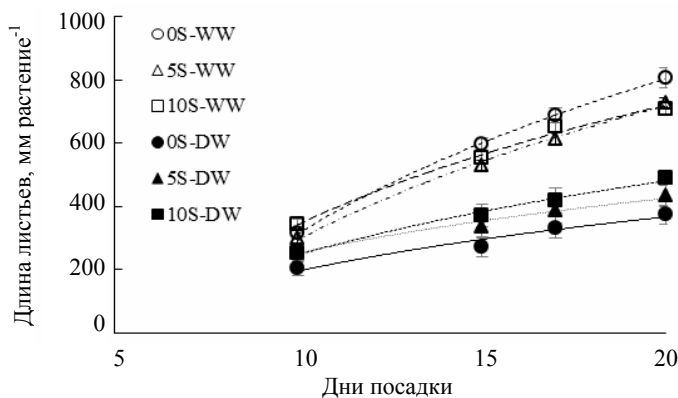


Рис. Общая длина листьев лука, выращенных на почве, содержащей 0 (0S), 5 (5S) и 10 (10S) г шунгита в кг^{-1} почвы при регулярном поливе (WW) или при периодической засухе (DW)

Положительное влияние шунгита на растения лука проявилось в снижении гибели растений, как при регулярном поливе, так и при периодической засухе, но особенно выраженным оно было в последнем случае. В условиях низкой температуры воздуха

шунгит способствовал увеличению скорости фотосинтеза и WUE у растений, выращиваемых при недостаточном поливе. Однако он не влиял на интенсивность дыхания и долю дыхательных затрат от фотосинтеза независимо от условий увлажнения почвы, содержания в почве и температуры измерения. При оптимальном увлажнении почвы шунгит повышал чувствительность дыхания листьев к ингибитору альтернативного пути дыхания и снижал чувствительность данного пути к кратковременным изменениям температуры. Уменьшение температурной чувствительности альтернативного пути дыхания под влиянием шунгита может способствовать, согласно работе [1], росту устойчивости дыхания растений к действию низкой температуры.

В целом, внесение шунгита в почву мало влияло на физиологические процессы растений лука, выросших в оптимальных условиях, в том числе при регулярном поливе. Влияние шунгита на растения было выражено только в стрессовых условиях роста растений при периодической засухе. В данном исследовании за рабочую гипотезу мы приняли предположение, что внесение шунгита в почву может способствовать повышению доступности воды и/или элементов минерального питания для растений. В отличие от химических, водно-физические свойства почвы не изменялись при внесении в нее шунгита. Следовательно, реакции растений лука на шунгит обусловлены не улучшением водоудерживающих свойств почвы, а повышением содержания макро- и микро-элементов в почве и растениях. Следует отметить, что при этом растения не накапливали тяжелые металлы, такие как Cd и Pb, а содержание Zn, Cu и Ni в растениях не достигало токсичных уровней.

Известно, что транспорт элементов питания в ткани растений снижается в условиях засухи [2]. Внесение в почву шунгита восстанавливало содержание элементов в растениях, испытывавших воздействие засухи, до уровня растений, которые росли при регулярном поливе. Значимость элементов питания в жизни растений и их устойчивости к стрессу невозможно переоценить [3]. Вероятно, шунгит-опосредованное изменение химического состава растений способствовало частичному повышению устойчивости

растений к действию низкой температуры и дефициту почвенной влаги. Однако влияние шунгита не было столь сильным и успешным для поддержания активности физиологических процессов растений в стрессовых условиях периодической засухи, на уровне растений, выросших при регулярном поливе.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ «Карельский научный центр РАН», средств федерального бюджета на выполнение государственного задания (0218 – 2019 – 0074) и частично РФФИ (19 – 29 – 05174).

Литература

1. Armstrong A. F., Badger M. R., Day D. A., Barthelet M. M., Smith P. M. C., Millar A. H., Whelan J., Atkin O. W. Dynamic changes in the mitochondrial electron transport chain underpinning cold acclimation of leaf respiration / Plant Cell Environ. 2008. V. 31. С. 1156–1169.
2. Silva E. C., Nogueira R. J. M. C., Silva M. A., Albuquerque M. Drought stress and plant nutrition / Plant Stress. 2011. V. 5(1). P. 32–41.
3. Ahanger M. A., Talab N. M., Abd-Allah E. F., Ahmad P., Hajiboland R. Plant growth under drought stress: Significance of mineral nutrients / Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach, Edited by Parvaiz Ahmad. John. Wiley & Sons, Ltd. 2016. V. 2.

ИЗУЧЕНИЕ МЕЖФАЗНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМАХ ШУНГИТ-ЭЛАСТОМЕР КАК ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ МАТОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Мирошников Ю. П., Потапов Е. Э., Полдушов М. А., Бобров А. П.

*МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия,
yurm@mail.ru*

Шунгит, являющийся природным минеральным соединением, привлекает все более пристальное внимание технологов в области переработки наполненных полимеров. Это обусловлено тем, что в его состав входят оксид кремния (50–60 %), углерод в различных модификациях (около 30 %), соли и оксиды металлов, алюмосиликаты, а также сера, гуминовые кислоты и ряд других соединений. Богатый химический состав шунгита и его низкая себестоимость позволяет использовать его в качестве полифункционального наполнителя полимеров. Например, введение 10–20 мас. ч. шунгита в традиционные резиновые смеси позволяет частично заместить часть дорогостоящего техуглерода. Более того, содержащиеся в шунгите оксиды металлов могут принимать участие в реакциях вулканизации, что позволяет снизить дозировки оксида цинка в рецептурах резиновых смесей. Шунгит обладает также сильным анибактерицидным действием, способностью экранировать электромагнитные излучения и рядом других ценных качеств.

Однако широкое использование шунгита в качестве наполнителя ограничено его низкой совместимостью с углеводородными полимерами, что обусловлено его химическим составом. Как следует из представленных выше данных, шунгит содержит как гидрофильные, так и гидрофобные компоненты (т.е. поверхность частиц шунгита является бифильной). В связи с этим целью настоящей работы являлось изучение смачиваемости шунгита эластомерами с различной полярностью цепей. Кроме того, исследовали различные способы смешения шунгита с эластомерами, обеспечивающие оптимальное качество смешения при минимальных энергозатратах.

В качестве объектов исследования использовали монолитные куски шунгита (ГОСТ 9479-98), кварца и графита в форме полированных пластин. Промышленные цис-1,4-полиизопрен (СКИ-3), цис-1,4-полибутадиен (ПБ), этиленпропилендиеновый (СКЭПТ-40), бутадиенстирольный (СКМС-30 АРКМ) и бутадиеннитрильный (СКН-26) каучуки, хлорбутил каучук (ХБК) и хлорсульфированный полиэтилен (ХСПЭ) использовали в виде полученных горячим прессованием гладких пластин.

Значения контактных углов смачивания указанных выше твердых субстратов измеряли методом лежащей капли с использованием компьютеризованного гониометра ЛК-1 фирмы Open Science с водой и диметилсульфоксидом в качестве смачивающих жидкостей. На основе этих данных рассчитывали значения поверхностного натяжения (ПН) и его полярной и дисперсионной составляющих, а также межфазные натяжения (МН) на границах эластомер-шунгит (кварц, графит). Смеси эластомеров с шунгитовым порошком (Карелит, ТУ2189-002-002-04493-2008) получали на лабораторном смесителе "Brabender Plasticorder" с последующими расчетами энергозатрат на смешение.

Полученные результаты показали, что поверхность шунгита является слабополярной. При поверхностном натяжении $37,4 \text{ мДж/м}^2$ полярная составляющая для шунгита равна $6,0 \text{ мДж/м}^2$, тогда как для SiO_2 и углерода (фуллерена) – соответственно $11,5$ и $1,0 \text{ мДж/м}^2$. В то же время полярные составляющие ПН для исследованных эластомеров менялись в широких пределах от $0,3 \text{ мДж/м}^2$ для СКД до $29,5 \text{ мДж/м}^2$ для ХСПЭ. Расчеты свидетельствуют о том, что МН в смесях на основе слабо полярных каучуков СКМС-30, СКЭПТ-4, СКИ-3 и СКД (соответственно $1,7$, $2,7$, $2,8$ и $3,6 \text{ мДж/м}^2$) заметно ниже межфазных натяжений для смесей на основе полярных ЧБК, СКН-26 и ХСПЭ (соответственно $8,6$, $10,6$ и $15,5 \text{ мДж/м}^2$). Поскольку снижение межфазного натяжения сопровождается улучшением смачиваемости и усилением межфазной адгезии на границах раздела фаз, то следует ожидать, что шунгит будет лучше смешиваться со слабополярными полимерами. Кроме того, на основе таких полимеров можно будет получать смеси с более высоким содержанием шунгита.

Для выяснения этих вопросов были приготовлены и испытаны невулканизованные смеси на основе СКМС-30-АРКМ-15, содержавшие 50–300 мас. ч. шунгита (карелита) на 100 мас. ч. эластомера. Установлено, что повышение содержания шунгита приводило к заметному росту условной прочности (предела текучести) смесей, которая достигала 1,2 МПа для композиции с максимальным содержанием наполнителя. Высокая каркасность высоконаполненных смесей согласуется с полученными ранее поверхностными характеристиками (угол смачивания, ПН, МН) и обусловлена достаточно хорошей смачиваемостью поверхности частиц шунгита молекулами каучука и равномерным их распределением в объеме матрицы.

Следующий этап работы был посвящен анализу целесообразности использования высоконаполненных шунгитом маточных смесей в рецептурах шинных резин. Считается, что оптимальная дозировка шунгита в таких композициях составляет порядка 15–20 мас. ч. на 100 мас. ч. эластомера. В то же время известно, что при низком содержании наполнителя ухудшаются процессы деагломерации частиц и их распределения в объеме каучука. С этой целью в стандартных рецептурах протекторных и каркасных резин для грузовых шин на основе каучука СКМС-39-АРКМ-15 15 мас. ч. техуглерода замещали таким же количеством шунгита, который вводили непосредственно в виде порошка (вариант 1), либо в виде маточной смеси, содержавшей 100 мас. ч. шунгита (вариант 2). Было установлено, что при втором способе введения шунгита снижалась вязкость по Муни на 21 % и уменьшался размер агломератов на 20 %.

Положительные результаты проведенных экспериментов были подтверждены испытаниями опытных партий грузовых шин. Установлено, что введение 15–20 мас. ч. шунгита через маточные смеси не только не приводит к ухудшению комплекса свойств резин, но напротив, улучшает ряд важнейших их характеристик. В частности, снижается себестоимость изделий за счет уменьшения содержания техуглерода и оксида цинка. Снижению производственных затрат способствует также установленное в данной работе уменьшение на 29 % энергозатрат на процесс смешения в случае введения шунгита в виде маточных смесей.

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШУНГИТА КАК НОСИТЕЛЯ ТРАДИЦИОННЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

**Потапов Е. Э.¹, Бобров А. П.¹, Емельянов С. В.¹, Юлдашев Т. У.¹,
Дудник С. М.¹, Салыч Е. Г.¹, Алимпиев С. В.²**

¹*РТУ-МИРЭА, г. Москва, Россия, svitar@yandex.ru*

²*«ООО Надвоицкий завод ТДМ», г. Петрозаводск, Россия*

Использование природных минеральных соединений – традиционных инертных наполнителей как носителей некоторых ингредиентов резиновых смесей, известно достаточно давно. Однако, во всех этих смесях, минеральные наполнители являются лишь механическими переносчиками ингредиентов, облегчая тем самым их распределение в резиновых смесях, не влияя на их реакционную способность.

В данной работе предложено использовать шунгит как транзитера ингредиентов. Учитывая наличие на поверхности частиц шунгита чрезвычайно реакционноспособных центров, можно было предположить, что при контакте ингредиентов с этими центрами может произойти их активация, повышение реакционной способности относительно фазы эластомера. Нанесение на поверхность частиц шунгита традиционных ингредиентов резин можно путем механохимической модификации.

Нами проведена механохимическая модификация шунгита ускорителями серной вулканизации (альтакс, тиурам), промоторами адгезии резин к металлокорду (соли кобальта), кремне кислотными агентами сочетания, а также малеиновым ангидридом. Во всех изученных случаях показано, что механохимическая модификация шунгита приводит к следующим положительным эффектам:

- появляется возможность существенного увеличения дозировок шунгита в резиновых смесях (до 30 масс. ч.) без ухудшения свойств вулканизата по сравнению с эталоном;
- сокращение дозировок технического углерода;
- уменьшение содержания в резиновых смесях традиционной вулканизирующей группы (ZnO, S, ускорители);

- повышение адгезионных характеристик вулканизатов по отношению к латунированному металлокорду.

Определены оптимальные степени механохимической модификации шунгит разными ингредиентами (оно колеблется в интервалах 2–4 %), а также оптимальное наполнение (20 м.ч.).

Высказаны предположения о возможных схемах взаимодействия ингредиентов с поверхностью шунгита, а также предположение о целесообразном использовании поверхности пор шунгита в качестве «хранилищ», «депо» для компонентов резиновых смесей, что может существенно увеличить сроки эксплуатации резиновых изделий.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ ШУНГИТОНАПОЛНЕННЫМИ ЭЛАСТОМЕРНЫМИ КОМПОЗИТАМИ

**Хачатуров А. А.¹, Потапов Е. Э.¹, Фионов А. С.²,
Колесов В. В.², Резниченко С. В.¹**

¹*МИРЭА-Российский технологический университет, г. Москва, Россия,
ха4агага@mail.ru*

²*Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН,
г. Москва, Россия*

В последнее время отмечается повышенный интерес к полимерным композиционным материалам, обладающим защитными или экранирующими свойствами по отношению к электромагнитному излучению (ЭМИ) в радио-, СВЧ-, рентгеновском- и γ -диапазонах, вибрациям различного рода, биологически-активным и агрессивным средам и т.д. Как известно защитные свойства в данных композитах обеспечиваются за счет введения в их состав различных наполнителей, которые не всегда являются эффективным по причинам ухудшения эксплуатационных характеристик, повышения стоимости изделий, повышения токсичности и т. д. Поэтому поиск наполнителей минерального происхождения, которые позволяют получить высоконаполненный композит, обладающий защитными характеристиками по отношению к одному или нескольким из указанных выше факторов, является важной прикладной и теоретической задачей.

Определенный интерес в этой области представляют минеральные соединения, относящиеся к классу шунгитов, в состав которых входят ~30–35 % углерода, 50–60 % оксида кремния, силикаты и оксиды металлов, а также нано-углеродные образования [1, 2]. Сочетание углерода и диоксида кремния придает частицам шунгита дифильные свойства, благодаря чему его можно вводить в полимерные композиты в больших дозировках, без существенно-го ухудшения физико-механических характеристик. В то же время при таком высоком содержании шунгита полимерные композиты приобретают совершенно новый комплекс свойств, связанных с поглощением и экранированием различного рода излучений.

Так установлено, что введение в композиты на основе этилен-пропилендиенового каучука (СКЭПТ) до 300 мас.ч. шунгита приводит к увеличению коэффициента ослабления и отражения ЭМИ в СВЧ-диапазоне. Помимо улучшения поглощающих характеристик введение шунгита в больших дозировках также приводит к увеличению диэлектрической проницаемости, что вероятнее всего связано с изменением механизма поляризации в материале с увеличением концентрации проводящего наполнителя. Также, благодаря образованию проводящих структур в массе композита с увеличением концентрации шунгита в СКЭПТ уменьшается удельное объемное сопротивление материала [1, 3].

В той же работе было показано, что высоконаполненные шунгитом композиты на основе СКЭПТ улучшают акустические характеристики на границе раздела материал/среда, что позволяет рассмотреть их применение в качестве материалов, обеспечивающих согласование акустического импеданса между излучателем и средой [3].

В работе [4] авторы продемонстрировали преимущества шунгита по сравнению с техническим углеродом (ТУ) в процессе СВЧ-вулканизации. Так введение шунгита в СКЭПТ обеспечивает более равномерное распределение тепловых потоков в ходе нагрева СВЧ-излучением, благодаря чему обеспечивается высокая стабильность технологических процессов. Кроме того применение шунгита в рецептурах смесей на основе СКЭПТ позволяет снизить содержание каучука и ТУ, при сохранении необходимого уровня физико-механических свойств, повысить озоностойкость и стабильность цветовых характеристик резин в процессе УФ-старения.

Исходя из описанного выше, можно заключить, что использование шунгита в качестве наполнителя в эластомерных материалах, в частности на основе СКЭПТа, имеет ряд перспектив. Во-первых, шунгит улучшает технологические и эксплуатационные характеристики и может выступать в качестве стабилизирующей добавки в процессах СВЧ-вулканизации. Во-вторых, введение шунгита в больших концентрациях позволяет достичь удовлетворительного уровня защитных свойств по отношению к ЭМИ

в СВЧ-диапазоне и увеличить проводимость материала, тем самым открывая новые перспективы использования, например в качестве поглотителей ЭМИ, ЭМИ-экранов, антистатиков. В-третьих, эластомерные материалы, содержащие шунгит, могут быть использованы в качестве акустических материалов, обеспечивающих согласование импеданса между излучателем и средой. Кроме того стоит упомянуть, что частичная замена ТУ шунгитом является экономически и экологически выгодным решением.

Литература

1. *Родионов В. В.* Механизмы взаимодействия СВЧ-излучения с наноструктурированными углеродсодержащими материалами: Авторефер. дисс. ... к. ф.-м. н. Курск: ЮЗГУ, 2015. – 19 с.
2. *Потапов Е. Э.* Шунгит – перспективный ингредиент резиновых смесей для шинной промышленности и промышленности РТИ // Сборник тезисов докладов II Всероссийской научно-технической конференции «Каучуки и резина-2010». 2010. С. 289.
3. *Хачатуров А. А.* Изучение электрофизических и акустических свойств полимерных композиционных материалов на основе СКЭПТ и шунгита / А. А. Хачатуров, Е. Э. Потапов, В. В. Колесов и др. // Каучук и резина. 2018. Т. 77. № 2. С. 96–101.
4. *Бокша М. Ю.* Изучение влияния шунгита (карелита) на свойства вулканизатов на основе СКЭПТ, полученных СВЧ вулканизацией / М. Ю. Бокша, Е. Э. Потапов, С. В. Резниченко и др. // Каучук и резина. 2016. № 4. С. 20–23.

ШУНГИТОВАЯ ПРОДУКЦИЯ ЗАЖОГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ООО НПК «КАРБОН-ШУНГИТ»

Чабанюк Д. А., Матвеев В. А.

*ООО НПК «Карбон-Шунгит», г. Петрозаводск, Россия,
shungitnpk@onego.ru*

ООО НПК «Карбон-Шунгит» разрабатывает единственное в мире месторождение шунгитовых пород. Зажогинское месторождение находится на территории Заонежского полуострова (Медвежьегорский район Карелии).

Шунгитовые породы – уникальные по составу, структуре и свойствам образования. Они представляют собой необычный по структуре природный композит – равномерное распределение высокодисперсных кристаллических силикатных частиц в аморфной углеродной матрице. Средний размер силикатных частиц около 1 мкм. Средний состав пород месторождения – 30 % углерода и 70 % силикатов. Породы характеризуются высокой прочностью, плотностью, химстойкостью и электропроводностью. Они обладают рядом необычных физических, химических, физико-химических и технологических свойств.

Шунгитовый углерод обладает высокой активностью в окислительно-восстановительных реакциях. Вследствие исключительно развитого контакта между активным углеродом и силикатами, при нагреве шунгитовой породы активно протекают реакции восстановления кремнезема до металлического кремния и карбида кремния. Благодаря этому, шунгитовые породы являются эффективным сырьем в производстве литейного чугуна, ферросплавов, карбида кремния, в процессе удаления жидких шлаков из нагревательных колодцев и при выплавке элементарного фосфора. Основными потребителями шунгита являются металлургические заводы.

В производстве резин тонкие шунгитовые порошки заменяют углеродную и белую сажу. Могут быть получены композиты с широким диапазоном свойств, например, твердые

конструкционные резины (резинопласты), предоставляющие новые возможности для модернизации в машиностроении, электропроводные краски, пластмассы с антистатическими свойствами, электропроводные строительные материалы, совмещающие функции обычных стройматериалов со способностью экранировать электромагнитные излучения или служить нагревателями.

Композиционные шунгитовые радиоэкранирующие материалы способны обеспечить ослабление электромагнитной энергии в диапазоне более 100 МГц на уровне не менее 100 дБ. По сравнению с металлическими материалами, обладают экологическими преимуществами, т. к. не искажают магнитное поле Земли и исключают возможность возникновения значительных напряжений за счет резонансных явлений. Шунгитовые радиоэкраны могут использоваться в жилых помещениях.

Шунгитовые электропроводные материалы, как нагреватели малой удельной мощности, безопасные в пожарном и ожоговом отношении, экологически безопасные, могут использоваться для строительства теплых полов и других обогреваемых поверхностей помещений.

Шунгитовые породы обладают сорбционными, каталитическими и бактерицидными свойствами. Эти свойства находят применение при использовании шунгитов в фильтрах подготовки питьевой воды и воды в плавательных бассейнах, катализаторах в процессах оргсинтеза. По способности очищать воду от нефтепродуктов шунгитовые породы не уступают активированному углю, но значительно дешевле. Они могут использоваться в крупных фильтрах для очистки поверхностных сточных вод, сточных вод карьеров, автомоек, железнодорожных депо и др. В частности, в Москве построены шунгитовые фильтры по очистке стоков с МКАД и ЦКАД.

Эффективно использование шунгитовых электродных засыпок для электроосаждения ионов тяжелых металлов из промстоков гальванических заводов и возврата этих металлов в производство.

Уникальны бактерицидные свойства шунгитов. Настои воды на шунгите и шунгитовые пасты обладают лечебными свойствами.

Настои воды оказывают благотворное профилактическое воздействие на кожу, очищая, восстанавливая и омолаживая её. Представляется перспективным широкое применение шунгитовых препаратов в фармакологии и косметике.

ООО НПК «Карбон-Шунгит» постоянно ведет работу по расширению сфер использования шунгитов. Мы заинтересованы в сотрудничестве с российскими и иностранными предприятиями.

НАУЧНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ШУНГИТА В СОСТАВЕ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ядыкина В. В., Выродова К. С.

БГТУ им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия, vva@intbel.ru

Широкий спектр свойств и уникальная структура фуллеренсодержащего природного шунгита позволяют использовать его в различных отраслях науки, промышленности и техники для создания самых различных материалов и определяют поиск новых областей его применения, что способствует более глубокому изучению этого материала.

Применение шунгита может быть эффективно в составе дорожно-строительных материалов, так как его уникальные свойства помогут решить ряд сложившихся проблем, что обусловлено его высокой химической стойкостью, адсорбционной активностью, бактерицидными, каталитическими, восстановительными свойствами.

Основным материалом для покрытий автомобильных дорог является асфальтобетон, в состав которого входит минеральный порошок, обычно из тонкомолотого известняка, оказывающий существенное влияние на процессы структурообразования и качество органо-минерального композита.

В последнее время актуальной задачей является поиск и разработка новых типов дисперсных наполнителей для композиционных материалов, к которым относится асфальтобетон, в том числе и природного происхождения, обеспечивающих оптимальный баланс механических свойств композитов и имеющих преимущества по стоимости перед существующими.

В работе [1] исследовано влияние шунгита на физико-механические свойства асфальтовяжущего, причем для объяснения активного взаимодействия наполнителя с вяжущим использована теория кислотно-основных взаимодействий. При этом установлено, что суммарное количество активных центров на поверхности шунгита в несколько раз превосходит эту величину для известняка.

Опираясь на исследования [2], сделан вывод о том, что молекулы органических веществ, содержащиеся в вяжущем, могут активно взаимодействовать с поверхностью шунгита, следовательно, между битумом и шунгитом образуются прочные связи. Это подтверждено исследованиями адсорбции вяжущего на поверхности порошков методом адсорбции-десорбции битума из бензола.

Авторы [3] изучали возможность введения больших дозировок шунгитового порошка (Карелита) в нефтяной битум и влияние на свойства полученных шунгит-битумных композитов в сравнении с битумом, наполненным традиционно используемым известняком. Показано, что введение Карелита приводит к росту вязкости, температуры размягчения, прочности и эластичности композитов. Сделан вывод о том, что полученные композиты могут быть использованы для производства асфальтобетона, кровельных, гидроизоляционных материалов, лаков, красок и т. д.

Подольский Вл. П. с соавторами провел исследования [4, 5] по влиянию минеральных порошков из шунгита на свойства асфальтовяжущего и асфальтобетона. По результатам изучения композиции «битум-шунгит» с использованием зондового микроскопа сделан вывод, что шунгит, обладая высокой адсорбционной активностью по отношению к органическому вяжущему, оказывает на него более сильное структурирующее воздействие, чем другие порошки. Частицы битума проникают в поровое пространство шунгита и заполняют его, что в дальнейшем обеспечивает формирование устойчивой структуры асфальтобетона с преобладанием замкнутых пор. Производственные испытания, проведенные авторами, подтвердили эффективность применения шунгита в качестве минерального порошка в составе асфальтобетонных смесей.

Установлено [6], что введение шунгита приводит к повышению температуры размягчения битумного вяжущего и теплостойкости. Авторы работы также предполагают, что уменьшение размера частиц исследуемого наполнителя (который равен 0,34–0,36 мкм) до ультрадисперсных может привести к дальнейшему улучшению свойств материалов.

Модификация битума различными добавками, в том числе полимерными, – один из наиболее эффективных способов регулирования эксплуатационных свойств асфальтобетона. Из-за высокой стоимости полимеров, одним из перспективных направлений является уменьшение содержания полимера, например, за счет введения минерального наполнителя в его состав. Определенный интерес в качестве такого активного наполнителя для полимерных материалов представляет природный шунгит. Использование шунгита в качестве наполнителя полимерных композитов приводит к получению материалов, которые характеризуются улучшенным комплексом свойств, повышенными экономическими показателями из-за возможности снижения энергетических затрат для распределения в полимере, также введение шунгита дает возможность заменить традиционные наполнители в составе таких композитов [7].

В работе [8] для регулирования показателей свойств битумо-полимерной мастики использовался тонкомолотый шунгит, который выполнял роль центров структурирования вяжущего. Особенности строения позволяют при наполнении шунгитом битумо-полимерно-резиновой композиции сохранить высокую гибкость при отрицательных температурах, эластичность при 0 °С, когезионную прочность, а также высокую адгезию к поверхности каменного материала.

Таким образом, шунгит прошел лабораторные и промышленные испытания в составе разных рецептов, исходя из чего можно заключить, что исследование и применение шунгита в качестве наполнителя полимерно-битумных композитов или в качестве минерального порошка для производства асфальтобетонных смесей является перспективным направлением.

Литература

1. *Высоцкая М. А.* Шунгит – как компонент битумоминеральной композиции для дорожной отрасли / М. А. Высоцкая, С. Ю. Русина, Д. Беляев, О. Киселев // Сборник статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. – Москва. – 2015. – С. 18–26.

2. *Ядыкина В. В.* Управление процессами формирования и качеством строительных композитов с учетом состояния поверхности дисперсного сырья: монография / В. В. Ядыкина // Издательство: Белгородский государственный технологический университет, 2009. – 371с.

3. *Сорокина О. В.* Исследование свойств высоконаполненных композитов на основе битума и шунгита (Карелита) / О. В. Сорокина, Е. Э. Потапов, С. В. Резниченко, А. П. Бобров, В. А. Смаль, В. В. Ядыкина, И. В. Тикунова // Каучук и резина. – 2018. – Т. 77. – № 2. – С. 92–94.

4. *Подольский Вл. П.* Влияние шунгитового минерального порошка на изменение структурно-механических свойств асфальтобетона во времени / Вл. П. Подольский, Д. И. Черноусов // Наука и инновации в строительстве. ВГАСУ. – Воронеж. – 2008. – С. 394–399.

5. *Подольский Вл. П.* Исследование свойств битумо-шунгитового вяжущего на сканирующем микроскопе / Вл. П. Подольский, Д. И. Черноусов, С. М. Усачев // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2010. – № 4 (20). – С. 93–99.

6. *Шевердяев О. Н.* Новые высокодисперсные минеральные наполнители для битумно-полимерных композиционных материалов / О. Н. Шевердяев, В. Н. Крынкина // Энергосбережение и водоподготовка. – Москва. – 2007. – С. 74–75.

7. *Потапов Е. Э.* Применение природных углеродсодержащих минеральных соединений в качестве ингредиентов полимерных композиционных материалов / Е. Э. Потапов, Ш. Прекоп, А. П. Бобров, С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозов // Тезисы докладов конференции «Каучуки, РТИ, шины: традиции и новации». – Москва. – 2011. – С. 42.

8. *Высоцкая М. А.* Модифицированная битумно-полимерная мастика. Структурные особенности / М. А. Высоцкая, С. Ю. Шеховцова // Технические науки. Научный вестник. – 2017 – №1 (11). – С. 74–83.

Инновационные материалы и технологии

НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШУНГИТА (КАРЕЛИТА) В ПОЛИМЕР ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ОБЛАСТЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Потапов Е. Э.¹, Бобров А. П.¹, Емельянов С. В.¹,
Резниченко С. В.¹, Алимпиев С. В.²

¹РТУ-МИРЭА, г. Москва, Россия, svitar@yandex.ru

²«ООО Надвоицкий завод ТДМ», г. Петрозаводск, Россия

Обзор. В ряде исследований было показано, что высокая эффективность применения шунгита как ингредиента эластомерных композитов обусловлена наличием на поверхности частиц этого минерала большого количества реакционноспособных центров, способных взаимодействовать с компонентом полимерной фазы [1].

Однако, как показали исследования гидрофильно-гидрофобных свойств шунгита, а также механизмов смещения шунгита с полимерной фазой, их термодинамических основ, этот минерал является практически единственным соединением, который может быть введен в полимерную фазу в ультра-высоких дозировках, определяющих в дальнейшем уникальные свойства таких композитов (проф. Ю. П. Мирошников) [2].

Впервые получены композиты на основе ПА-6 и шунгита, содержащие до 70 % этого наполнителя, характеризующиеся высокой ударной вязкостью, изгибающим напряжением, модулями упругости, прочностью и другими физико-механическими показателями. Повышается термостабильность наполненных композитов. При наполнении шунгитом ПА-6 60 % термостабильность при 250 °С составляет 0,92, при 260 °С – 0,83.

Изучение электрических свойств шунгитонаполненных композитов, показало, что при их степени наполнения шунгитом 40 %, удельное поверхностное сопротивление составило $1,25 \times 10^{13}$, т. е. это диэлектрики, а при 60 % наполнении – $1,1 \times 10^7$, т. е. это антистатика.

Представляет большой интерес изучение влияния шунгита на свойства полимерных композитов на основе полиуретанов,

т. к. эти полимеры содержат концевые изоцианатные группы, которые могут активно взаимодействовать с функциональными группами, входящими в состав этого минерала (-ОН, Me-ОН, MeO) [3].

Установлено, что введение 70 масс.ч. шунгита в полиуретановые композиции существенно повышает их прочность при раздире 1,7 кН/м до 10,7 кН/м, а также традиционную прочность при разрыве с 1,02 МПа до 2,06 Мпа.

Чрезвычайно большой интерес вызвали работы, в которых было исследовано влияние шунгита на процессы структурирования полихлоропрена, хлорсульфированного полиэтилена и других хлорсодержащих полимеров [4]. Установлено, что во всех этих случаях шунгит как бы является вторичным вулканизирующим агентом, позволяющим вывести из рецептуры традиционные вулканизирующие агенты или полностью, или частично (MgO. ZnO и др.). Перспективно использовать шунгит как ингредиент композиционных материалов на основе смесей ПХ и СКН, в том числе и шунгита, модифицированного уротропином.

Представляет интерес использование шунгита как наполнителя в демпфирующих резинах на основе полихлоропрена в дозировках 30–40 м.ч. при одновременном выводе из этих рецептур ZnO, MgO, каолина и уменьшении дозировки технического углерода на 10–20 масс.ч. Во всех этих случаях наблюдается существенный рост тангенса механических потерь ($\text{tg}\alpha$), что однозначно свидетельствует о улучшении демпфирующих характеристик этих объектов [5].

Перспективно развитие работ в области создания акустических материалов на основе ультравысоконаполненных шунгитом полимеров (этиленпропиленовых каучуков), для которых характерно согласование акустического импеданса между излучением и окружающей средой, а также поглощающие и экранирующие покрытия. Также композиционные материалы могут являться электродинамическими средами [6, 7].

В последнее время появился ряд работ, связанные с изучением возможности использования шунгита в латексных системах как, в конечном счете, наполнителя для латексных резин, который существенно повышает стойкость таких резин при работе в агрессивных средах, включая воду [8].

Необходимо отметить, что в последнее время проводятся интенсивные исследования в области изучения возможности применения шунгита в асфальтобетонных материалах. Об этом будет сделан отдельный доклад проф. В. В. Ядыкиной [9, 10].

Глубокоуважаемые Коллеги!

Мы сейчас с Вами обсудили только верхушку айсберга, называемого шунгитом. Основная его значимость спрятана под водой, и нам предстоит с Вами эту подводную часть изучить, поднять этот айсберг!

Литература

1. *Потапов Е. Э., Бобров А. П., Резниченко С. В., Морозов Ю. Л., Прекоп Ш. и др.* Применение углеродсодержащих минеральных соединений в качестве ингредиентов полимерных композиционных материалов // Тезисы докладов Всероссийской конференции «Каучук, РТИ, Шины: традиции и инновации» 2–3 марта 2011, Москва «Экспоцентр». С. 42–44.

2. *Полдушев М. А., Мирошников Ю. П., Потапов Е. Э., Инжинова Л. М., Бобров А. П., Москалев В. А., Полянин А. В., Прекоп Ш.* Оценка межфазного взаимодействия на границе раздела “шунгит-эластомер” // Каучук и резина. 2013. № 4. С. 32–36.

3. RU патент 2558890 С1, дата публикации 10.08.2015 Бюл. изобр., № 22 «Композиция для покрытий», Н. А. Новаков, Е. Э. Потапов, А. П. Бобров, Гугина С. Ю., Гущина Е. А., Медведев В. П., Смаль В. А.

4. *Потапов Е. Э., Бобров А. П., Артамонова О. А., Сахарова Е. В., Годунов* Применение шунгита в качестве вулканизирующего агента в резинах на основе ПХ и ХСПЭ // Каучук и резина. 2010. № 5. С. 10–23.

5. *Никиташина О. Н., Бобров А. П., Потапов Е. Э., Юровский В. С., Белковский В. В.* Изучение возможности использования шунгита в рецептуре резин для демпферов крутильных колебаний в автодвигателях // Каучук и резина. 2012. № 4. С. 19–23.

6. *Хачатуров А. А., Потапов Е. Э., Колесов В. В., Фионов А. С., Бобров А. П., Смаль В. А., Прут Э. В., Шевченко В. Г., Тикунова Н. В.* Изучение электрофизических и акустических свойств полимерных материалов на основе СКЭПТ и шунгита // Каучук и резина. 2018. № 2. С. 92–96.

7. *Бокша М. Ю., Бобров А. П., Потапов Е. Э., Резниченко С. В., Смаль В. А., Лякин Ю. Н.* Изучение влияния шунгита на свойства вулканизаторов на основе СКЭПТ, полученных СВЧ-вулканизацией // Каучук и резина. 2016. № 4. С. 20–24.

8. *Кравченко Е. С., Анжатуров П. И., Майзелис Б. А., Бобров А. П., Потапов Е. Э., Белковский В. В.* Высоконаполненные композиционные материалы на основе латекса НК и шунгита // *Каучук и резина*. 2012. № 5. С. 8–11.

9. *Подольский В. П., Высоцкая М. А., Кузнецов Д. А., Черноусов Д. И.* Формирование асфальтовяжущего вещества при взаимодействии шунгитового минерального порошка с битумом // *Научный вестник ВГАСУ Строительство и архитектура*. 2013. № 1(29). С. 75–81.

10. *Подольский В. П., Черноусов Д. И.* Влияние шунгитового минерального порошка на изменение структурно-механических свойств асфальтобетона во времени // *Наука и инновации в строительстве*, ВГАСУ, Воронеж, 2008.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ШУНГИТОВЫХ ПОРОД	7
Дейнес Ю. Е. Геолого-геофизические исследования шунгитовых пород Онежского синклиниория в XXI веке	9
Филипов М. М., Дейнес Ю. Е. Перспективы открытия месторождения шунгитов на участке Никонова гора	13
ЛИТО- И ГЕОХИМИЯ ШУНГИТОВЫХ ПОРОД; МИНЕРАЛОГИЯ УГЛЕРОДА И ШУНГИТОВЫХ ПОРОД	17
Kreitsmann T., Lepland A., Bau M., Prave A., Paiste K., Mänd K., Romashkin A. E., Kirsimäe K. Rare Earth Elements and Carbon Isotope Record from the Carbonates of the Zaonega Formation	19
Mänd K., Lalonde S. V., Paiste K., Thoby M., Lumiste K., Robbins L. J., Kreitsmann T., Romashkin A. E., Kirsimäe K., Lepland A., Konhauser K. O. What the Zaonega Formation Reveals About Global Geochemistry: An Iron Isotope Perspective	21
Paiste K., Fike D. A., Kirsimäe K., Mänd K., Paiste P., Jones C., Lepland A., Prave A. R., Romashkin A. E. Testing the Global Significance of the Sulfur Isotope Record of the Paleoproterozoic Zaonega Formation	24
Van Zuilen M. A., Qu Y., Lepland A. Structurally Heterogeneous Carbonaceous Matter and Mineral Templating Induced Graphitization in Karelian Shungite Rocks	27
Ковалевский В. В. Шунгитовый углерод – структурные особенности и приложение к технологическим процессам	29
Котельников А. Р., Ахмеджанова Г. М., Сук Н. И., Котельникова З. А., Мартынов К. В., Белоусова Е. О., Криночкина О. К., Ананьев В. В. Изуче- ние шунгитового вещества и составы поверхностных вод шунгитовых месторождений Заонежья	33
Мовланов Ж. Ж., Каршиев А. Б., Абдуллаев Л. А. Минералогические особен- ности углеродсодержащих толщ перспективной площади Айтым (Узбекистан)	37
Первуннина А. В., Мясникова О. В. Литогеохимические факторы и петро- физические свойства в оценке качества сырья из зоны контактового эпиге- неза месторождения шунгитсодержащих пород Максово (Карелия)	41
	95

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОГО
ВЕЩЕСТВА И ШУНГИТОВЫХ ПОРОД И ИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ
ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ** 45

Бискэ Н. С. Сравнительные рамановские характеристики шунгитов и метантрацитов контактово-термального метаморфизма 47

**НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ПРИМЕНЕНИЯ ШУНГИТОВЫХ ПОРОД
В КРУПНОТОННАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ
(металлургия, строительство, сельское хозяйство, шины,
резинотехнические изделия, химический комплекс и др.)** 51

Алимпиев С. В., Засорин А. В., Зубков Д. Г., Кирилюк С. Д. Адсорбент микотоксинов нового поколения на основе модифицированного шунгита в кормлении продуктивных животных 53

Бобров А. П., Потапов Е. Э., Резниченко С. В., Мирошников Ю. П., Алимпиев С. В. Разработка технологии получения шинных резиновых смесей с повышенной дозировкой шунгита 55

Боголюбова Н. В., Романов В. Н., Мишуров А. В., Рыков Р. А. Биорегуляторы на основе минерала шунгит в кормлении животных 57

Голубев Е. А., Антонец И. В., Щеглов В. И. СВЧ отражающие и поглощающие свойства микрослоев шунгитов 61

Де Алес Л., Вылку Л., Еремеев Т. Шунгит в синергии с микроорганизмами и ферментами для экологически устойчивого сельского хозяйства с нулевыми остатками пестицидов 63

Делекторский А. А., Платонова Е. Г., Бобров А. П., Потапов Е. Э. Новый экологически чистый активатор грунта для систем электрохимической защиты металлов от коррозии 67

Икконен Е. Н., Чаженгина С. Ю., Сидорова В. В. Реакции растений лука на внесение в почву шунгита 70

Мирошников Ю. П., Потапов Е. Э., Полдушов М. А., Бобров А. П. Изучение межфазных взаимодействий в системах шунгит-эластомер как обоснование возможности получения высоконаполненных маточных смесей 74

Потапов Е. Э., Бобров А. П., Емельянов С. В., Юлдашев Т. У., Дудник С. М., Салыч Е. Г., Алимпиев С. В. Изучение возможности использования шунгита как носителя традиционных ингредиентов резиновых смесей 77

Хачатуров А. А., Потапов Е. Э., Фионов А. С., Колесов В. В., Резниченко С. В. Исследование поглощения ЭМИ различной природы шунгитонаполненными эластомерными композитами	79
Чабанюк Д. А., Матвеев В. А. Шунгитовые материалы Забогинского месторождения ООО НПК «Карбон-Шунгит»	82
Ядыкина В. В., Выродова К. С. Научные предпосылки и опыт применения шунгита в составе дорожно-строительных материалов	85
ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ	89
Потапов Е. Э., Бобров А. П., Емельянов С. В., Резниченко С. В., Алимпиев С. В. Новые исследования в области применения шунгита (карелита) в полимер перерабатывающих областях промышленности	91

CONTENTS

GEOLOGICAL STRUCTURE OF SHUNGITE DEPOSITS	7
Deines Yu. E. Geological and Geophysical Investigations of Shungite Rocks of the Onega Synclinatorium in the XXI Century	9
Filippov M. M., Deines Yu. E. Prospects for the Discovery of a Shungite Deposit at the Nikonova Gora	13
LITHO- AND GEOCHEMISTRY OF SHUNGITE ROCKS; MINERALOGY OF CARBON AND SHUNGITE ROCKS	17
Kreitsmann T., Lepland A., Bau M., Prave A., Paiste K., Mänd K., Romashkin A. E., Kirsimäe K. Rare Earth Elements and Carbon Isotope Record from the Carbonates of the Zaonega Formation	19
Mänd K., Lalonde S. V., Paiste K., Thoby M., Lumiste K., Robbins L. J., Kreitsmann T., Romashkin A. E., Kirsimäe K., Lepland A., Konhauser K. O. What the Zaonega Formation Reveals About Global Geochemistry: An Iron Isotope Perspective	21
Paiste K., Fike D.A., Kirsimäe K., Mänd K., Paiste P., Jones C., Lepland A., Prave A.R., Romashkin A.E. Testing the Global Significance of the Sulfur Isotope Record of the Paleoproterozoic Zaonega Formation	24
Van Zuilen M. A., Qu Y., Lepland A. Structurally Heterogeneous Carbonaceous Matter and Mineral Templating Induced Graphitization in Karelian Shungite Rocks	27
Kovalevsky V. V. Shungite Carbon – Structural Features and Application to Technological Processes	29
Kotelnikov A. R., Akhmedzhanova G. M., Suk N. I., Kotelnikova Z. A., Martynov K. V., Belousova E. O., Krinochkina O. K., Ananiev V. V. Study of Shungite Substance and Surface Water Composition of Shungite Deposits of Zaonezhye	33
Movlanov Zh. Zh., Karshiev A. B., Abdullaev L. A. Mineralogical Features of Carbon-bearing Strata of the Promising Area Aitim (Uzbekistan)	37
Pervunina A. V., Myasnikova O. V. Lithogeochemical Factors and Petrophysical Properties of the Shungite-bearing Rock in the Contact Epigenesis Zone for Quality Assessment of Raw Material, Maksovo Deposit Karelia	41
PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF CARBONACEOUS MATTER AND SHUNGITE ROCKS AND THEIR TRANSFORMATION UNDER THE INFLUENCE OF NATURAL AND MAN-MADE FACTORS	45
Biske N. S. Comparative Raman Characteristics of Shungites and Metaanthracites of Contact-thermal Metamorphism	47

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE USE OF SHUNGITE ROCKS IN LARGE-SCALE INDUSTRIES (METALLURGY, CONSTRUCTION, AGRICULTURE, TIRES, RUBBER PRODUCTS, CHEMICAL COMPLEX, ETC.)	51
Alimpiev S. V., Zasorin A. V., Zubkov D. G., Kirilyuk S. D. Adsorbent of Mycotoxins of New Generation Based on Modified Shungite in the Feeding of Productive Animals	53
Bobrov A. P., Potapov E. E., Reznichenko S. V., Miroshnikov Yu. P., Alimpiev S. V. Development of a Technology for Producing Tire Rubber Mixtures with an Increased Dosage of Shungite	55
Bogolyubova N. V., Romanov V. N., Mishurov A. V., Rykov R. A. Bioregulators Based on the Mineral Shungite in Animal Feeding	57
Golubev Ye. A., Antonets I. V., Shcheglov V. I. Microwave Reflective and Absorbing Properties of Shungite Microlayers	61
De Ales L., Vilcu L., Eremeev T. Shungite in Synergy with Microorganisms and Enzymes for Sustainable Agriculture with Zero Pesticide Residues	63
Delektorskiy A. A., Platonova E. G., Bobrov A. P., Potapov E. E. New Environmentally Friendly Soil Activator for Systems of Electrochemical Protection of Metals from Corrosion	67
Ikkonen E. N., Chazhengina S. Yu., Sidorova V. V. Response of Onion Seedlings to Shungite Application	70
Miroshnikov Yu. P., Potapov E. E., Poldushov M. A., Bobrov A. P. Study of Interfacial Interactions in Shungite-Elastomer Systems as a Substantiation of the Possibility of Obtaining Highly Filled Masterbatches	74
Potapov E. E., Bobrov A. P., Emelyanov S.V., Yuldashev T. U., Dudnik S. M., Salych E. G., Alimpiev S.V. Study of the Possibilities of Using Shungite as a Carrier for the Ingredients of Rubber Compounds	77
Khachaturov A. A., Potapov E. E., Fionov A. S., Kolesov V. V., Reznichenko S. V. Study of EMR Absorption of Various Natures by Shungite-filled Elastomeric Composites	79
Chabanyuk D. A., Matveev V. A. Shungite Materials of the Zazhogino deposit, LLC NPK "Carbon-Shungit"	82
Yadykina V. V., Vyrodova K. S. Scientific Background and Experience in the Use of Shungite in Road Construction Materials	85
INNOVATIVE MATERIALS AND TECHNOLOGIES	89
Potapov E. E., Bobrov A. P., Emelyanov S. V., Reznichenko S. V., Alimpiev S. V. New Research in the Field of Application of Shungite (Karelite) in Polymer Processing Industries	91

Научное издание

**ШУНГИТОВЫЕ ПОРОДЫ КАРЕЛИИ:
ГЕОЛОГИЯ, СТРОЕНИЕ,
ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ
«ШУНГИТ-2020–2021»**

Материалы конференции с международным участием
29 июня – 1 июля 2021 г., Петрозаводск

*Печатается по решению Ученого совета
Института геологии КарНЦ РАН*

Издано в авторской редакции

Подписано в печать 21.06.2021. Формат 60×84¹/₁₆.
Гарнитура Times. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 3,7. Усл. печ. л. 5,81.
Тираж 100 экз. Заказ № 663

Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр Российской академии наук»
Редакционно-издательский отдел
185003, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50