УДК 549:553.6(470.22)

ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ ШУНГИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД КАРЕЛИИ

О. В. МЯСНИКОВА,
научный сотрудник, канд. техн. наук,
okmyasn@krc.karelia.ru

А. В. ПЕРВУНИНА,
старший научный сотрудник, канд. геол.-минерал. наук

Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

Дана оценка условий залегания и потребительских свойств шунгитсодержащих пород Карелии. Представлены результаты исследований физико-механических свойств пород месторождений Нигозеро и Мягрозеро.

Показано, что щебень из этих пород имеет обширную область применения в различных отраслях промышленности Северо-Западного региона.

Ключевые слова: *Карелия, низкоуглеродистые шунгитсодержащие породы, песчаники, алевролиты, физико-механические свойства, строительные материалы, щебень, шунгизит, облицовочные плиты.*

DOI: *10.17580/gzh.2019.03.15*

Введение

Актуальной задачей горнодобывающей промышленности является рациональное использование природных минеральных ресурсов и выявление возможных потребителей готовой продукции технологического передела нерудных полезных ископаемых, среди которых низкоуглеродистые шунгитсодержащие породы могут найти достойное применение.

Низкоуглеродистые шунгитсодержащие породы развиты преимущественно в пределах Онежской палеопротерозойской структуры в составе людиковийского (1920–2100 млн лет) и калевийского (1800–1920 млн лет) надгоризонтов юго-восточной части Фенноскандинавского щита [1–3]. Основные типы пород представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками и лидитами. К рассматриваемым в настоящей работе низкоуглеродистым шунгитсодержащим породам – песчаникам и алевролитам, согласно классификации [4, 5], относятся породы с силикатной минеральной основой и переотложенным органическим веществом в составе терригенных частиц. Шунгитовое вещество – это метаморфизованное протерозойское органическое вещество на метаантрацитовой стадии углефикации. Породы развиты в составе обоих стратиграфических подразделений нижнего протерозоя и представлены на месторождениях Нигозеро ($A+B+C_1$ – 18,06 млн м^3), Мягрозеро ($B+C_1$ – 35,4 млн м^3), Красная Сельга (C_1+C_2 – 58,4 млн м^3) и Викшезеро (C_1+C_2 – 4,6 млн м^3). Как правило, месторождения низкоуглеродистых шунгитсодержащих пород тяготеют к замковым частям синклинальных структур II и III порядков. Оси складок ориентированы на северо-запад, породы залегают полого с падением на юго-запад [6].

Из разведанных месторождений в настоящее время разрабатывается Нигозеро, которое в структурном отношении приурочено к северо-западной замковой части Вашезерской синклинали. Месторождение Мягрозеро расположено в замковой части Мунозерской синклинали II порядка и Мягрозерской синклинали III порядка. С 2003 г. компания «МКС-Инвест» (ООО «Шунгит М») разрабатывает месторождение с выпуском продукции для строительной отрасли. Месторождение Красная Сельга локализовано в средней части западного крыла Мунозерской синклинали. Месторождение Викшезеро залегает в северо-западном замыкании Викшезерской синклинали. Следует отметить, что по всему массиву пород месторождений отмечается система трещин – субгоризонтальная пластовая и северо-восточного простирания.

Методика и результаты исследований

На месторождениях были отобраны аналитические пробы песчаника и алевролита для лабораторного исследования пород. В Аналитическом центре КарНЦ РАН выполнены силикатный анализ и полуколичественное определение содержания элементов на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре последовательного анализа ARL ADVANT'X Thermo Fisher Scientific. Электронно-микроскопные и микрозондовые исследования проб выполнены на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LST (Tescan) с энергодисперсионным анализатором INCA Energy 350. Физико-механические свойства пород и фракции щебня 5–20 и 20–40 мм месторождения Нигозеро изучены в Испытательном центре Института геологии КарНЦ РАН по соответствующим ГОСТам.

Исследуемые низкоуглеродистые породы месторождений содержат шунгитовое вещество в пределах от 0,1 до 3 %. Количественное содержание шунгитового вещества в аргиллитах и алевролитах, как правило, выше, чем в песчаниках. Наиболее распространенная форма нахождения шунгитового вещества в породе – равномерно распределенная вкрапленность размером от 1 до 10 мкм, структура пород колломорфная и кристаллитовая. Часто шунгитовое вещество образует вытянутые по слоистости линзы мощностью до 0,05 мм.

© Мясникова О. В., Первунина А. В., 2019

В целом на месторождениях выделяют два типа низкоуглеродистых пород, отличающихся по гранулометрическому составу – тонко- и ритмично-слоистые алевролиты и ритмично-слоистые граувакковые и полимиктовые песчаники. Граувакковые песчаники средне- и крупнозернистые, имеют серый, темно-серый или почти черный цвет, параллельную горизонтальную или косую слоистость. Обломочный материал представлен эффузивными и пирокластическими породами основного состава. Главный минерал пород – плагиоклаз с полисинтетическими двойниками, иногда замещается кальцитом. Редко встречаются зерна кварца и обломки вулканических стекол. Акцессорные минералы – магнетит, апатит, титанит, рутил. Полимиктовые песчаники средне- и мелкозернистые, имеют серый до светло-серого цвет, иногда пеструю желтовато-бурую пятнистую окраску. По сравнению с граувакковыми песчаниками в них меньше обломков вулканогенных пород и существенно больше зерен полевых шпатов и кварца. Полевые шпаты сильно пелитизированы. Иногда присутствуют лейкоксен, магнетит, пирит, карбонат. Алевролиты имеют серый, темно-серый до черного цвет. Зерна, как правило, плохо окатанные, угловатые, реже – среднеокатанные. Обломочный материал представлен кварцем, полевым шпатом, тонкозернистым хлоритовым агрегатом, реже встречаются карбонатные зерна. Для всех типов пород месторождений наибольшее значение в количественном отношении имеет хлорит, который совместно с гидрослюдами образует раскристаллизованную массу, замещающую почти полностью первичные глинистые минералы пород в процессе регионального метаморфизма.

По тектоническим нарушениям пород месторождений развито окисление, которое сопровождается ореолом вторичной лимонитизации основной массы пород и потерей шунгитового вещества. При этом породы приобретают бурую, желтоватую или зеленоватую окраску.

Для песчаников и алевролитов низкоуглеродистых шунгитсодержащих пород характерны бластопсаммитовая структура, а также массивная и полосчатая текстура с параллельной горизонтальной, реже – косой слоистостью (см. **рисунок**).

Анализ петрохимического состава песчаников и алевролитов месторождений показал следующие особенности: содержание кремнезема (SiO_2) в песчаниках – 50–62 %, в алевролитах – 38–50 %; процентное содержание суммарного железа ($FeO+Fe_2O_3$) в песчаниках ниже, чем в алевролитах. Можно отметить, что химический состав отдельных разновидностей пород месторождений не имеет существенных различий и близок к составу средних пород. К отличиям следует отнести повышенное содержание суммарного железа – до 24 %, основным носителем которого является железистый хлорит.

Свойства низкоуглеродистых шунгитсодержащих пород как строительного камня зависят от минерального состава и структурно-текстурного строения, которые определяются генезисом пород и интенсивностью вторичных процессов, горнотехническими условиями добычи и способами последующего технологического передела.

До недавнего времени основным направлением использования низкоуглеродистых шунгитсодержащих пород Карелии было получение легкого пористого заполнителя бетона – шунгизита [7]. Пористая структура шунгизита при обжиге щебня достигается при переходе силикатных минералов в вязкий расплав с одновременным образованием газовой фазы из шунгитового вещества. При содержании шунгитового вещества менее 0,1 % или более 3,5 % вспучиваемость щебня снижается [8, 9]. Получение шунгизита стабильного качества с постоянной насыпной плотностью 300–350 кг/м^3 (I сорт) возможно при условии выдержанного содержания шунгитового вещества 0,2–1 % по площади месторождения. Для производства шунгизита в 1972 г. в Кондопожском районе Карелии был введен в эксплуатацию Кондопожский шунгитовый завод, работающий на базе сырья месторождения Нигозеро. Предприятие выпускало шунгизитовый гравий и поставляло его в северо-западные и центральные регионы России [10].

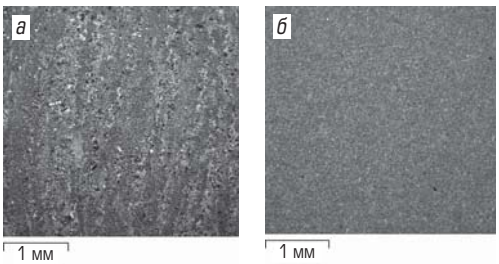
К настоящему времени верхние продуктивные горизонты месторождения Нигозеро отработаны. Вовлечение в разработку нижележащих пластов и участков измененных пород в зонах тектонических нарушений привело к значительному ухудшению качества минерального сырья для производства шунгизита. Одновременно с этим породы в пределах неотработанных горизонтов действующего месторождения не отвечают требованиям к стабильности качества сырья для получения шунгизита.

Благоприятные соотношения пород для получения шунгизита высокого качества отмечаются на месторождении Мягрозеро. В структурном плане месторождение характеризуется относительно спокойной тектонической обстановкой и переслаиванием песчаников и алевролитов (80–20 – 70–30 и 60–40 %). Ранее проведенные испытания [11] показали, что породы пригодны для получения шунгизита с насыпной плотностью менее 400 кг/м^3. Однако в связи с изменившейся экономической ситуацией и повышением требований к качеству строительных материалов промышленное производство шунгизита в Республике Карелия не осуществляется.

Для эффективной эксплуатации месторождений назрела потребность в изучении состава и свойств низкоуглеродистых шунгитсодержащих пород как нерудных полезных ископаемых для производства щебня и бута.

Авторами были исследованы физико-механические свойства низкоуглеродистых шунгитсодержащих пород месторождений как строительного камня (**табл. 1**).

В целом породы месторождений характеризуются высокими показателями предела прочности при одноосном сжатии и невысокими значениями водопоглощения, что дает возможность отнести их к прочным разновидностям нерудных полезных ископаемых. Однако



Низкоуглеродистые шунгитсодержащие породы:
а – песчаники; *б* – алевролиты

Таблица 1. Физико-механические свойства низкоуглеродистых шунгитсодержащих пород Карелии

Показатель	Месторождение				Требования по ГОСТу 9479–2011
	Нигозерское	Мягрозерское	Красная Сельга	Викшезерское	
Плотность, кг/м^3	2790–2880 / 2830	2830–2840 / 2840	2760–2840 / 2780	2810–2860 / 2830	≥2500
Удельная масса, кг/м^3	2870–2890 / 2880	2840–2870 / 2860	2800–2910 / 2830	2820–2870 / 2850	Не нормируется
Водопоглощение, %	0,10–0,12 / 0,11	0,10–0,18 / 0,15	0,10–0,40 / 0,20	0,10	≤0,75
Пористость, %	0,35–2,79 / 1,74	0,35–1,05 / 0,88	1,43–2,41 / 1,77	0,35–0,77 / 0,70	Не нормируется
Предел прочности при сжатии породы в сухом состоянии, МПа	169–253 / 202	92–200 / 101	194–210 / 193	–	≥70

Примечание. В числителе – показатели «от» – «до», в знаменателе – средние.

сложный характер тектонических нарушений не позволяет получить промышленные блоки на месторождении Нигозеро. Добычу горной массы на карьере месторождения осуществляли буровзрывным способом с применением метода скважинных зарядов. Для дробления низкоуглеродистых пород использовали передвижной дробильно-сортировочный комплекс FINLAY, предусматривающий трехстадиальное дробление с замкнутым циклом на III стадии.

Были отобраны технологические пробы фракций щебня, полученного из пород продуктивной толщи месторождения Нигозеро, и проведены исследования их физико-механических свойств (**табл. 2**).

Следует отметить, что качественные характеристики щебня из продуктивных горизонтов месторождения (в основном песчаников) в целом достаточно высоки, и щебень может применяться в качестве заполнителей бетона и других видов строительных материалов, в том числе в строящихся жилых и общественных зданиях. Однако следует обратить внимание на наличие вредных примесей, которые снижают прочность и долговечность бетона, т. е. необходимо контролировать содержание сульфидов, хлоритов и халькопирита в щебне, указывать их значение в сертификате продукции. Пески-отсевы могут применяться для строительных растворов, приготовления сухих смесей.

В алевролитах месторождения Нигозеро развита плитчатая отдельность, параллельная слоистости, вследствие чего порода легко раскалывается на плитки толщиной 2–15 см. Породы хорошо поддаются шлифовке, приобретают однотонный матовый черный цвет. В основном применяются в виде плит для мощения полов, различных архитектурно-садовых форм, облицовки внешних фасадов и внутренней отделки зданий.

В дальнейшем, при возникновении спроса, возможна отработка запасов месторождения Мягрозеро для получения шунгизита высокого качества. В целях более эффективной эксплуатации месторождения допустимо получение строительного щебня на одной из линий производства при отработке участков, не пригодных для получения шунгизита. Произведенный предприятием щебень отвечает требованиям ГОСТ 8267–93, предъявляемым к прочному щебню, по радиационно-гигиеническим свойствам данный щебень может применяться без ограничений при строительстве жилых и общественных зданий. На данном этапе из сырья месторождения выпускают различные фракции щебня для строительных работ, в качестве заполнителя бетонов (в том числе при производстве бетона для тротуарных плит, высокодекоративного бетона [12] и бетона специального назначения [13]), очистки воды [14–17], плитки-отдельности применяются как отделочный декоративный материал в ландшафтных работах [18]. Возможно применение в технологии получения композиций для защитных покрытий поверхности с целью увеличения прочностных свойств строительных конструкций [19].

Южнее месторождения Мягрозеро, в пределах площади прогнозных ресурсов вспучивающихся пород P_1, Карельской геологической экспедицией был исследован участок Турастомозеро

Таблица 2. Физико-механические свойства щебня месторождения Нигозеро

Исследуемые показатели	Фактический результат	Требования по ГОСТ 8267–93
Прочность: дробимость при сжатии в цилиндре в водонасыщенном состоянии, % (масс.): фракция 5–20 мм фракция 20–40 мм	 9,47 10,73	≤ 11
истираемость в полочном барабане, % (масс.): фракция 5–20 мм фракция 20–40 мм	 13 12,7	≤ 25
Содержание в щебне: зерен пластинчатой и игловатой формы, % (масс.): фракция 5–20 мм фракция 20–40 мм	 8,50 5,05	≤ 10
зерен слабых пород, % (масс.): фракция 5–20 мм фракция 20–40 мм	1,44	≤ 5 при марке по дробимости 1200
пылевидных и глинистых частиц (размер менее 0,05 мм), % (масс.): фракция 5–20 мм фракция 20–40 мм	 0,18 0,13	≤ 2 при марке по дробимости 1200
Насыпная плотность, кг/м^3: фракция 5–20 мм фракция 20–40 мм	 1242 1280	Не нормируется
Суммарная удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{эфф.}$, Бк/кг	129	≤ 370 во вновь строящихся жилых и общественных зданиях

(C_2 – 46,2 тыс. м^3) для добычи облицовочных плит. На участке был пройден опытный карьер, на котором выход плит из горной массы составил 23 %. В Институте геологии КарНЦ РАН были определены физико-механические свойства пород. Установлено, что породы относятся к группе среднепрочных по ГОСТ 9479–2011 и характеризуются следующими средними показателями: предел прочности при сжатии в сухом состоянии 81 МПа; снижение прочности породы при сжатии при водонасыщении 16 %; водопоглощение 0,1 %; плотность 2830 кг/м^3; истираемость 0,83 г/см^2 и 2,88 мм. Породы хорошо поддаются шлифовке, приобретают однотонный матовый темно-серый цвет. В основном применяются в виде плит для мощения полов и лестниц при умеренном механическом воздействии, при облицовке внешних фасадов зданий, для внутренней отделки интерьеров, различных архитектурно-садовых форм.

Породы месторождения Красная Сельга являются качественным сырьем для строительного щебня и производства шунгизита с насыпной плотностью от 300 до 600 кг/м^3. Температурный интервал вспучивания пород месторождения более широкий, а прочностные свойства шунгизитового щебня на 20–30 % выше, чем у пород месторождения Нигозеро [11]. В настоящее время месторождение не разрабатывается.

Низкоуглеродистые шунгитсодержащие породы месторождения Викшезеро из-за ограниченности запасов, невысокого качества сырья, нетехнологичности (различные оптимальные температуры вспучиваемости, узкий температурный интервал вспучивания – менее 30 °С) [11] и сложных горнотехнических условий (тектонические нарушения) на сегодняшний день не вызывают промышленного интереса.

Заключение

Таким образом, для дальнейшей эксплуатации месторождения Нигозеро целесообразно его комплексное освоение с учетом тектонического районирования. Для отработки нижележащих горизонтов песчаников на щебень необходимо выполнять вскрышные работы с отработкой алевролитов на плитки-отдельности. Некондиционные участки месторождения Мягрозеро, не пригодные для получения шунгизита, рационально разрабатывать на плиточные отдельности для архитектурно-строительных работ, а также на щебень.

Проведенные исследования показали, что щебень из низкоуглеродистых шунгитсодержащих пород месторождений соответствует требованиям, предъявляемым к прочному щебню для строительных и дорожных работ, как заполнителю бетона для строительных работ, бетона для тротуарных плит и высокодекоративных бетонов; а также для очистки воды. Месторождение Красная Сельга является перспективным для дальнейшей отработки на шунгизитовый гравий и щебень для строительных работ.

Библиографический список

1. Общая стратиграфическая шкала нижнего докембрия России : объяснительная записка. – Апатиты : КНЦ РАН, 2002. – 13 с.
2. *Филиппов М. М., Есипко О. А.* Геолого-геофизические маркирующие горизонты палеопротерозоя Онежской структуры. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2016. – 257 с.
3. *Melezhik V. A., Prave A. R., Fallick A. E., Kump L. R., Strauss H.* et al. Reading the Archive of Earth's Oxygenation. – Berlin : Springer-Verlag. 2013. Vol. 1. The Palaeoproterozoic of Fennoscandia as Context for the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. – 501 p.
4. *Филиппов М. М., Голубев А. И., Медведев П. В.* Органическое вещество шунгитоносных пород Карелии (генезис, эволюция, методы изучения). – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 1994. – 208 с.
5. *Филиппов М. М.* Шунгитоносные породы Онежской структуры. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2002. – 280 с.
6. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / под ред. Л. В. Глушанина, Н. В. Шарова, В. В. Щипцова. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2011. – 431 с.
7. *Соколова И. В.* Сорбционная влажность легкого полимерсиликатного шунгизитобетона для наружных стен зданий с кислыми влажногазовыми средами // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_175_Sokolova_doc__3_.pdf_b0f6bdac15.pdf (дата обращения: 19.10.2018).
8. *Филиппов М. М.* Шунгитсодержащие сланцы Карелии – ценное минеральное сырье для строительной индустрии России // Горный журнал. 2012. № 5. С. 27–29.
9. *Smirnova O. M.* Technology of increase of nanoscale pores volume in protective cement matrix // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Vol. 9. Iss. 10. P. 1991–2000.
10. *Грешнер С. Г.* Крупное месторождение шунгитовых сланцев в Западных Мугоджарах (Южный Урал) // Строительные материалы. 2007. № 5. С. 20–21.
11. *Калинин Ю. К., Филиппов М. М., Капутин Ю. Е., Мутыгуллин Р. Х.* Качество и эффективность использования шунгизитового сырья Карелии. – Петрозаводск : КФАН СССР, 1988. – 146 с.
12. *Белогурова Т. П., Миханошина И. А., Каменева Е. Е., Петров В. Е.* К вопросу организации производства тротуарных плит на основе шунгитсодержащих пород Мягрозерского месторождения // Строительный камень: от геологии до архитектуры : сб. ст. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2015. С. 144–145.
13. *Antonets I. V., Golubev E. A., Shavrov V. G., Shcheglov V. I.* Dynamic Microwave Conductivity of Graphene-Based Shungite // Technical Physics Letters. 2018. Vol. 44. Iss. 5. P. 371–373.
14. *Kwiecinska B., Pusz S., Krzesinska M., Pilawa B.* Physical properties of shungite // International Journal of Coal Geology. 2007. Vol. 71. Iss. 4. P. 455–461.
15. *Alimzhanova M., Adilbekov E., Kapar A., Sagandykova G., Ashimuly K.* A stationary phase for solid-phase extraction based on natural nanomaterial shungite // Proceedings of the 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. – Albena, 2016. Book 5. Vol. 2. P. 17–24.
16. *Берёза И. Г., Брюшковская Т. С., Балакирева К. А., Аванесова Т. П.* Использование природных сорбентов в судовом водоочистном оборудовании // Морские интеллектуальные технологии. 2018. Т. 1. № 1(39). С. 95–99.
17. *Polunina I. A., Goncharova I. S., Polunin K. E., Buryak A. K.* Effect of Chemical Composition of Shungite Material on Its Sorption Properties // Inorganic Materials: Applied Research. 2018. Vol. 9. Iss. 4. P. 772–776.
18. *Филиппов М. М., Первунина А. В.* Шунгитоносные породы Карелии: применение при строительстве Санкт-Петербурга, современные направления использования // Строительный камень: от геологии до архитектуры : сб. ст. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2015. С. 143–144.
19. *Ключникова Н. В., Генов И., Мухачева В. Д., Пискарева А. О.* Защитные покрытия на основе модифицированных фенолформальдегидных композитов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2018. № 12. С. 91–97. ГЖ

«GORNYI ZHURNAL», 2019, № 3, pp. 78–82
DOI: 10.17580/gzh.2019.03.15

Integrated use prospects for low-carbon schungite-bearing rocks in Karelia

Information about authors
O. V. Myasnikova [1], Researcher, Candidate of Engineering Sciences, okmyasn@krc.karelia.ru
A. V. Pervunina [1], Senior Researcher, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences
[1] Institute of Geology, Karelian Research Center, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Abstract
Aiming to expand minerals and raw materials base in the Republic of Karelia, deposits of low-carbon schungite-bearing rocks are discussed from the viewpoint of application in construction industry. These rocks are mostly developed within the Onega Paleo-Proterozoic structure inside the Ludicovian (1920–2100 million years) and Kalevian (1800–1920 million years) upper horizons in the south-east of the Fenno-Scandinavian Shield. The basic low-carbon schungite-bearing rocks in Karelia are argillite, siltstone, sandstone and lyddite. Schungite content of rocks ranges as 0.1–5%. Schungite is a metamorphosed Proterozoic organic substance at meta-anthracite stage of carbonization. Most often schungite occurs in rocks as a uniform dissemination from 1 to 10 μm in size. Schungite content is maximum in lyddite and minimum in sandstone.
This study analyzes two types of low-carbon schungite bearing rocks—sandstone and siltstone—from four deposits. The mineral and chemical compositions of rocks are studied by the methods of electron microscopy and X-ray fluorescent spectrometry. The mineralogical and lithochemical singularities are revealed, and the petrophysical properties which govern processing and application trends are determined.
In terms of the Nigozero and Myagrozero deposits, detailed laboratory experiments are carried out. Quality of the nonmetallic minerals is evaluated. The studies of physical and mechanical properties of rocks and gravel fractions are presented; applicability of gravel in production of construction materials is considered. In siltstone areas of the deposits, it is recommended to cut rocks into slabs for external and internal lining of building, and for other architectural and constructional works.
Keywords: Karelia, low-carbon schungite-bearing rocks, sandstone, siltstone, physical and mechanical properties, construction materials, gravel, schungizite, facing slabs.

References
1. General stratigraphic scale of the lower Precambrian age in Russia : Explanatory note. Apatity : KNTs RAN, 2002. 13 p.
2. Filippov M. M., Esipko O. A. Geologo-geophysical marking horizons of Paleo-Proterozoic age in the Onega structure. Petrozavodsk : KarNTs RAN, 2016. 257 p.
3. Melezhik V. A., Prave A. R., Fallick A. E., Kump L. R., Strauss H. et al. Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Berlin : Springer-Verlag. 2013. Vol. 1. The Palaeoproterozoic of Fennoscandia as Context for the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. 501 p.
4. Filippov M. M., Golubev A. I., Medvedev P. V. Organic substance of schungite-bearing rocks in Karelia (genesis, evolution, study). Petrozavodsk : KarNTs RAN, 1994. 208 p.
5. Filippov M. M. Shungite Rocks of the Onega Structure. Petrozavodsk : KarNTs RAN, 2002. 280 p.
6. Glushanin L. V., Sharov N. V., Shchiptsov V. V. (Eds.). Paleoproterozoic Onega structure (geology, tectonics, deep structure and mineralogeny). Petrozavodsk : KarNTs RAN, 2011. 431 p.
7. Sokolova I. V. Sorption humidity of light polymer-silicate concrete for exterior walls of buildings with wet-gas media. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2018. No. 1. Available at: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_175_Sokolova_doc__3_.pdf_b0f6bdac15.pdf (accessed: 19.10.2018).
8. Filippov M. M. Shungite-bearing shales of Karelia as valuable mineral raw materials for Russian construction industry. *Gornyi Zhurnal*. 2012. No. 5. pp. 27–29.
9. Smirnova O. M. Technology of increase of nanoscale pores volume in protective cement matrix. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. Vol. 9, Iss. 10. pp. 1991–2000.
10. Greshner S. G. Large deposit of schungite shale in West Mugodzhary (South Ural). *Stroitelnye Materialy*. 2007. No. 5. pp. 20–21.
11. Kalinin Yu. K., Filippov M. M., Kaputin Yu. E., Mutygullin R. Kh. Quality and efficiency of schungizite material of Karelia. Petrozavodsk : KF AN SSSR, 1988. 146 p.
12. Belogurova T. P., Mikhanoshina I. A., Kameneva E. E., Petrov V. E. Walkway slab production arrangement using schungite-bearing rocks from the Myagrozero deposit. *Building Stone – From Geology to Architecture : Collected Works*. Petrozavodsk : KarNTs, 2015. pp. 144–145.
13. Antonets I. V., Golubev E. A., Shavrov V. G., Shcheglov V. I. Dynamic Microwave Conductivity of Graphene-Based Shungite. *Technical Physics Letters*. 2018. Vol. 44, Iss. 5. pp. 371–373.
14. Kwiecinska B., Pusz S., Krzesinska M., Pilawa B. Physical properties of shungite. *International Journal of Coal Geology*. 2007. Vol. 71, Iss. 4. pp. 455–461.
15. Alimzhanova M., Adilbekov E., Kapar A., Sagandykova G., Ashimuly K. A stationary phase for solid-phase extraction based on natural nanomaterial shungite. *Proceedings of the 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference*. Albena, 2016. Book 5, Vol. 2. pp. 17–24.
16. Beryoza I. G., Bryushkovskaya T. S., Balakireva K. A., Avanesova T. P. The use of natural sorbents in the ship water purification equipment. *Morskie intellektualnye tekhnologii*. 2018. Vol. 1, No. 1(39). pp. 95–99.
17. Polunina I. A., Goncharova I. S., Polunin K. E., Buryak A. K. Effect of Chemical Composition of Shungite Material on Its Sorption Properties. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2018. Vol. 9, Iss. 4. pp. 772–776.
18. Filippov M. M., Pervunina A. V. Schungite-bearing rocks of Karelia: use in construction of Saint-Petersburg, modern application trends. *Building Stone – From Geology to Architecture : Collected Works*. Petrozavodsk : KarNTs, 2015. pp. 143–144.
19. Klyuchnikova N. V., Genov I., Mukhacheva V. D., Piskareva A. O. Protective coatings based on modified phenolformaldehyde composites. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova*. 2018. No. 12. pp. 91–97.