

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.4 + 550.8.05

### ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ШУНГИТОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ ОНЕЖСКОГО СИНКЛИНОРИЯ

Ю. Е. Дейнес

*Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*

Проведены исследования максовитов купольных залежей Онежской структуры в разных шунгитоносных горизонтах заонежской свиты палеопротерозоя Карелии. По составу минеральной компоненты максовиты разделены на пять групп: тип силлиты, классы: суперсиллиты, нормосиллиты, миосиллиты, гиперсиллиты, тип сиаллиты. Выявлены закономерности изменения литохимических особенностей максовитов в зависимости от их стратиграфического положения, а также в пределах самих купольных построек.

Ключевые слова: максовиты; петрохимические модули; стратиграфия.

#### **Yu. E. Deines. LITHOCHEMICAL FEATURES OF SHUNGITE ROCK HORIZONS IN THE ONEGA STRUCTURE**

Maksovite of the Onega structure dome deposits was studied. It is found at different stratigraphic levels of the Palaeoproterozoic Zaonezhye Formation in Karelia. Maksovite was classified into five groups by the composition of their mineral component: classes super-sillites, normosillites, miosillites, hypersillites of the sillite type, and siallite type. Changes in the lithochemical characteristics of maksovite depending on their stratigraphic position and location within the dome structures were revealed.

Keywords: maksovite; petrochemical modules; stratigraphy.

#### **Введение**

Онежская синклиновая структура уникальна по накоплению органического углерода в раннем протерозое. Для шунгитоносных пород Фенноскандинавского щита она является стратотипической. Основная масса органиче-

ского углерода заключена в верхней подсвите заонежской свиты людиковийского надгоризонта (2,1–1,92 млрд лет). В пределах заонежской свиты С. В. Купряковым [1988] было выделено девять горизонтов шунгитоносных пород. Горизонты выделяются условно как наиболее обогащенные  $C_{орг.}$  участки слоистой толщи. Они

сохраняют свое первично-слоистое строение (переслаивание). Максимальное содержание  $C_{\text{орг}}$  – в наиболее тонких пелитовых и алевролитовых компонентах, как правило, первично-глинистого, глинисто-кремнистого состава. Нумерация шунгитоносным горизонтам дана по стратиграфии (снизу вверх в пределах второй пачки верхней подсвиты). До сих пор существует проблема однозначной идентификации принадлежности шунгитоносных пород к тому или иному шунгитоносному горизонту. В ряде случаев проблема решается с помощью геофизических методов. Например, восьмой горизонт уверенно отличается от всех других повышенным содержанием урана, поэтому при проведении гамма-каротажа скважин или наземной гамма-съемки горизонт выделяется по гамма-реперу [Филиппов, Есипко, 2016]. Известно также закономерное изменение изотопного состава углерода в пределах верхней подсвиты: второй, шестой и седьмой горизонты уверенно выделяются по значению параметра  $\delta^{13}C_{\text{орг}}$ . К сожалению, названные методы дорогостоящие и не всегда доступные. По этой причине существует потребность в разработке альтернативных методов определения стратиграфического положения шунгитоносных горизонтов. В работе сделана попытка выявления особенностей химического состава минеральной основы максовитов как в залежах, развитых по горизонтам, находящимся на разных стратиграфических уровнях, так и в пределах самих купольных залежей максовитов.

### Характеристика объекта исследования

Объектом исследования являлись десять залежей максовитов Онежского синклиория, развитые по разным шунгитоносным горизонтам: одна по второму, одна по четвертому и восемь по шестому шунгитоносному горизонту. Максовиты – шунгитоносные породы с содержанием  $C_{\text{орг}}$  от 10 до 45 %, серовато-черные, матовые, плотные, пелитоморфные [Филиппов, 2002]. Всего было исследовано более 300 образцов максовитов.

### Материалы и методы

Для характеристики использовалась химическая классификация и система петрохимических модулей для осадочных пород, предложенная Я. Э. Юдовичем и М. П. Кетрис [2000]. Данные химических анализов пересчитывались на безуглеродистую основу (минеральную компоненту максовитов), и, соответственно, назва-

ния типов, классов и др. согласно классификации даны для минеральной компоненты.

Определение содержания петрогенных элементов в пробах выполнялось методами количественного химического анализа [Пономарев, 1961]. Работы проводились в Аналитической лаборатории Института геологии КарНЦ РАН (г. Петрозаводск).

### Результаты и обсуждение

Для выявления различий максовитов были рассчитаны следующие петрохимические модули: гидролизатный –  $ГМ = (TiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + MnO) / SiO_2$ , титановый –  $ТМ = TiO_2 / Al_2O_3$ , железный –  $ЖМ = (Fe_2O_3 + FeO + MnO) / (TiO_2 + Al_2O_3)$ , фемический –  $ФМ = (Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO) / SiO_2$ , модуль нормированной щелочности –  $НКМ = (Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$ , алюмокремниевый –  $АМ = Al_2O_3 / SiO_2$ , щелочной –  $ЩМ = Na_2O / K_2O$ , а также сумма щелочей ( $Na_2O + K_2O$ ); многолетняя практика использования показала их эффективность при изучении осадочных пород [Юдович, Кетрис, 2000].

Содержание  $C_{\text{орг}}$  в изученных образцах изменяется в широких пределах (от 10 до 45 мас. %), все они относятся к типу кахитолитов [Юдович, Кетрис, 2000]. По составу минеральной компоненты максовиты разделяются на пять основных групп (табл.).

Наблюдается положительная корреляция между ГМ и суммой  $Na_2O + K_2O$  (рис. 1). Щелочной модуль ЩМ имеет значение  $>1$  для сиаллитов и  $<1$  для силитов. Во всех исследуемых объектах существует отчетливая обратная зависимость между содержанием  $SiO_2$  и  $Al_2O_3$ , причем количество  $C_{\text{орг}}$  в породах увеличивается с увеличением доли глиноземистой составляющей.

По содержанию кремнезема и глинозема выделяются глиноземистые, кремнистые и промежуточные группы максовитов, причем в группе кремнистых максовитов можно выделить несколько подгрупп пород, которые при одинаково высоком содержании кремнезема различаются содержанием других элементов.

Обратим внимание на рис. 2. Здесь выделяется отчетливый «тренд максовитов», причем значительная часть точек фиксируется в нижнем левом углу диаграммы. Можно заметить некоторую закономерность: наиболее щелочными и имеющими высокий АМ являются максовиты залежи, развитой по II шунгитоносному горизонту. Менее щелочные и с пониженным АМ – максовиты залежи, развитой по IV шунгитоносному горизонту. Максовиты залежей,

Состав минеральной компоненты максовитов  
Composition of mineral component of maksovites

Тип породы Type of rocks	n	SiO <sub>2</sub> , %		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %		C <sub>орг.</sub> %
		диапазон range	среднее average	диапазон range	среднее average	среднее average
Гиперсилиты, ГМ ≤ 0,05 Hypersilites, GM ≤ 0,05	13	91,14–95,38	93,45	1,62–3,57	2,59	25,18
Суперсилиты, ГМ = 0,051–0,10 Supersilites, GM = 0,051–0,10	108	86,29–93,38	89,84	2,13–7,07	4,64	29,69
Нормосилиты, ГМ = 0,11–0,20 Normosilites, GM = 0,11–0,20	95	77,74–87,71	84,19	3,94–11,40	6,96	34,52
Миосилиты, ГМ = 0,21–0,3 Miosilites, GM = 0,21–0,3	6	69,17–77,58	73,94	9,48–17,09	12,67	39,49
Сиаллиты, ГМ = 0,31–0,55 Siallites, GM = 0,31–0,55	3	66,67–69,90	68,03	13,97–15,00	14,44	37,15

*Примечание.* Составы пересчитаны на безуглеродистую составляющую (минеральную компоненту максовитов). n – количество образцов.

*Note.* Compositions were recounted on carbon free component (mineral component of maksovites). n – number of samples.

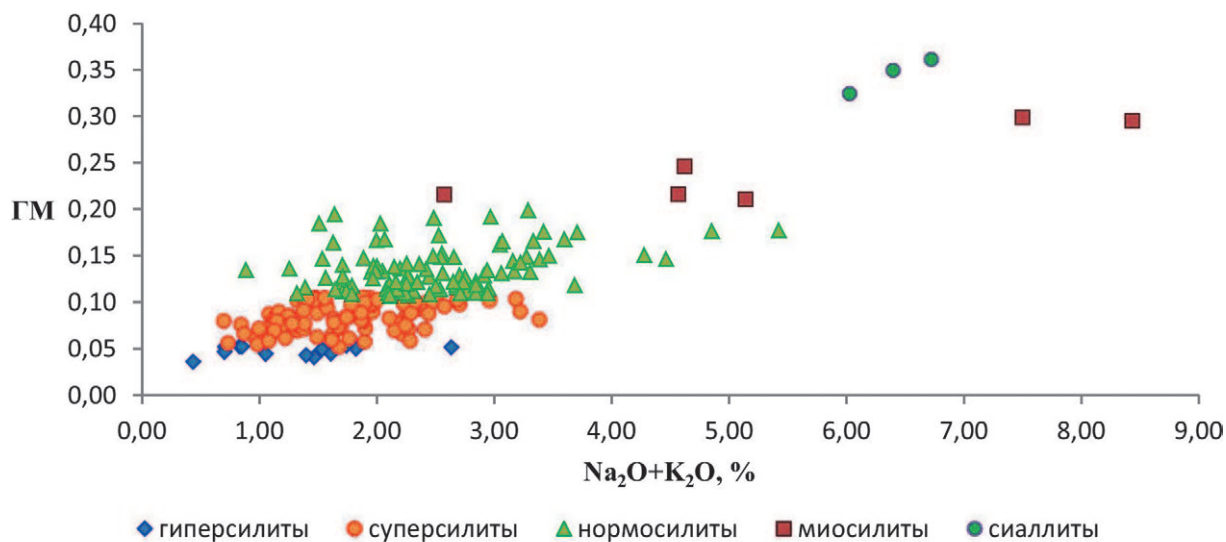


Рис. 1. Модульная диаграмма ГМ – Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O

Fig. 1. Modular diagram GM – Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O

развитых по VI шунгитоносному горизонту, представляют собой породы наименее щелочные, с пониженным значением АМ.

Помимо сравнения максовитов залежей, развитых по разным шунгитоносным горизонтам, было проведено исследование максовитов внутри отдельной залежи – Максовской. Так как залежь примерно на ¼ эродирована, исследовать апикальную часть купола невозможно. Было отобрано и проанализировано 75 проб, как из обнажений, так и из керна буровых скважин.

По составу минеральной компоненты максовиты подразделяются на три группы: тип силиты, класс суперсилиты (ГМ = 0,051–0,10) (образцы кровли залежи), тип силиты, класс нормосилиты (ГМ = 0,11–0,20) (образцы центральной части тела и подошвы залежи). От-

личие максовитов разных частей залежи наиболее четко проявляется на диаграмме ГМ – Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O (рис. 3).

Как уже отмечалось, при общей высокой кремнистости минеральной основы максовитов различных тел содержание C<sub>орг.</sub> в них связано со слюдистой (первично глинистой) составляющей. Поэтому на приведенной диаграмме все выделенные поля в принципе можно объединить в общий «тренд максовитов». Тренд можно подразделить на три отдельные группы, которые соответствуют различным частям залежи: подошве, центральной части тела и кровле, что подтверждает предположение о дифференциации по плотности и вязкости органо-минерального комплекса в процессе развития складок нагнетания.

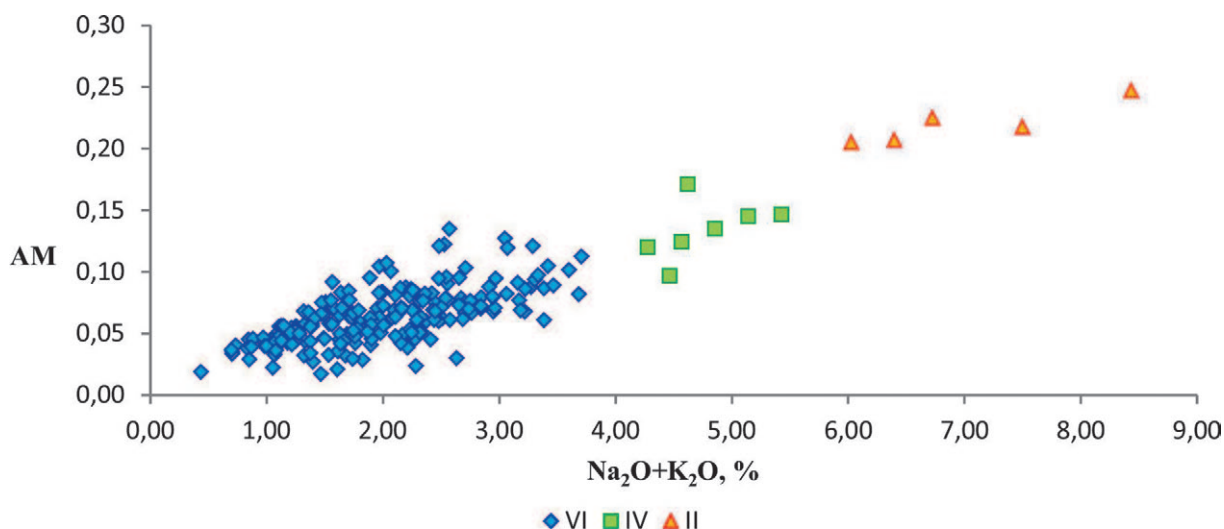


Рис. 2. Модульная диаграмма AM – Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O

Fig. 2. Modular diagram AM – Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O

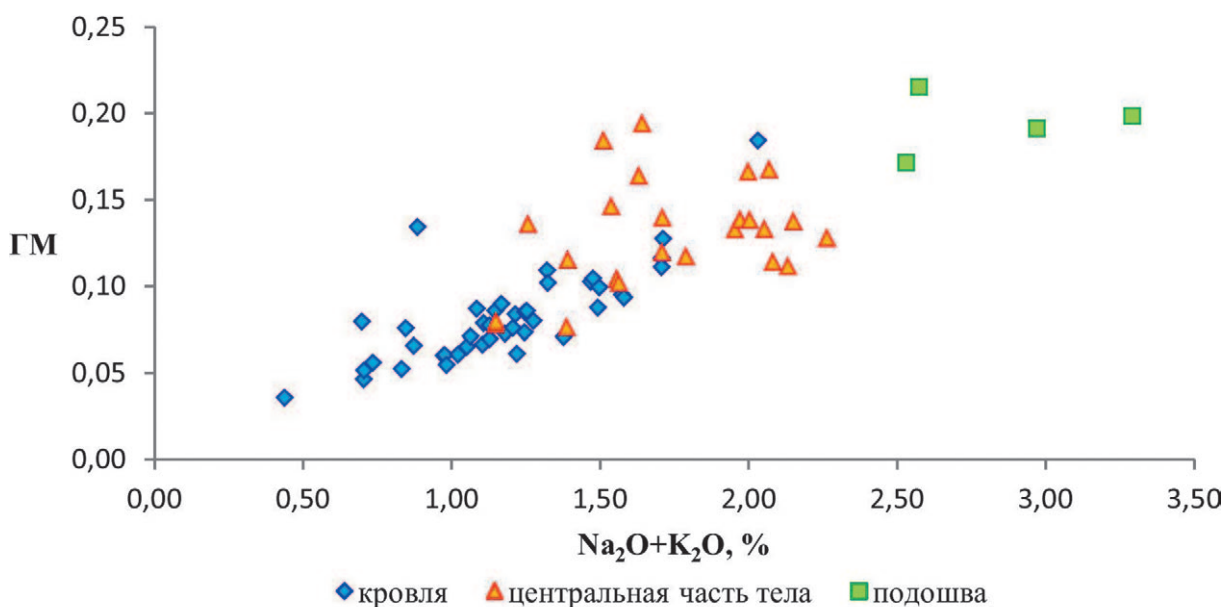


Рис. 3. Модульная диаграмма GM – Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O для максовитов Максовской залежи

Fig. 3. Modular diagram GM – Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O for maksovitites of the Maksovo deposit

Можно предположить, что для апикальных частей купольных структур «тренд максовитов» будет более выраженным.

### Заключение

В максовитах наблюдается прямая зависимость между суммой щелочей (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) и алюмокремниевым модулем (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>), а также отчетливая обратная зависимость между содержанием SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Породы более высоких горизонтов менее щелочные, более кремнистые, чем нижележащие. Для выявления

литохимических признаков в пределах залежи максовитов были исследованы образцы Максовской залежи. Максовиты подошвы залежи более щелочные, карбонатные, с повышенным содержанием Al, Fe, Mg, менее кремнистые; кровельная часть тела имеет менее щелочной, но более кремнистый состав, содержание Al, Fe и Mg ниже, чем в подошве; максовиты центральной части тела имеют промежуточный состав; четких границ в содержании элементов между породами всех трех частей залежи нет. Выявленные закономерности могут служить надежным поисковым признаком при раз-

ведке новых залежей максовитов Онежского синклинория, а также позволяют проводить корреляцию скважин.

*Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (тема НИР «Геология и генезис месторождений, минералогия и технология шунгитовых пород Онежской структуры»).*

## Литература

*Курьяков С. В.* Отчет о результатах поисковых работ на шунгитовые породы, проведенных в Онеж-

ской мульде в 1985–1988 гг. Петрозаводск, 1988. 148 с.

*Пonomarev A. I.* Методы химического анализа силикатных и карбонатных горных пород. М.: АН СССР, 1961. 414 с.

*Филиппов М. М.* Шунгитоносные породы Онежской структуры. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. 280 с.

*Филиппов М. М., Есипко О. А.* Геолого-геофизические маркирующие горизонты палеопротерозоя Онежской структуры. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 257 с.

*Юдович Я. Э., Кетрис М. П.* Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

*Поступила в редакцию 20.04.2018*

## References

*Filippov M. M.* Shungitonosnye porody Onezhskoi struktury [Shungite-bearing rocks of the Onega structure]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2002. 280 p.

*Filippov M. M., Esipko O. A.* Geologo-geofizicheskie markiruyushchie gorizonty paleoproterozoya Onezhskoi struktury [Geological-geophysical marking horizons of the Palaeoproterozoic of the Onega structure]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2016. 257 p.

*Kuryakov S. V.* Otchet o rezul'tatakh poiskovykh rabot na shungitovye porody, provedennykh v Onezhskoi mul'de v 1985–1988 gg. [Report on the results

of prospecting works conducted in the Onega structure in 1985–1988]. Petrozavodsk, 1988. 148 p.

*Ponomarev A. I.* Metody khimicheskogo analiza silikatnykh i karbonatnykh gornykh porod [Methods of chemical analysis of silicate and carbonate rocks]. Moscow: AN SSSR, 1961. 414 p.

*Yudovich Ya. E., Ketris M. P.* Osnovy litokhimii [Fundamentals of lithochemistry]. St. Petersburg: Nauka, 2000. 479 p.

*Received April 20, 2018*

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

### **Дейнес Юлия Евгеньевна**

младший научный сотрудник  
Институт геологии КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: deines@krc.karelia.ru  
тел.: (8142) 570080

## CONTRIBUTOR:

### **Deines, Yulia**

Institute of Geology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: deines@krc.karelia.ru  
tel.: (8142) 570080