

УДК 552.086; 552.581

СЯГОЙСКИЙ УЧАСТОК АРКА-ТАБЬЯХИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДИАТОМОВЫХ ГЛИН: ЛИТОЛОГИЯ ПОРОД И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ

Смирнов Павел Витальевич^{1,2},
geolog.08@mail.ru

Константинов Александр Олегович¹,
konstantinov.alexandr72@gmail.com

Шадрин Андрей Николаевич³,
shadrin_a_n@sibsac.ru

Баталин Георгий Александрович⁴,
g@batalin.com

Гареев Булат Ирекович⁴,
bulat@gareev.net

Новоселов Андрей Андреевич¹,
mr.andreygeo@mail.ru

Нафигин Рамазан Ринатович⁴,
Ramzantez-lotus@mail.ru

¹ Тюменский индустриальный университет,
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

² Институт геологии и палеонтологии технического университета Клаусталь,
Германия, 38678, Clausthal-Zellerfeld, Adolph-Roemer-Strasse, 2A.

³ Сибирский научно-аналитический центр,
Россия, 6250016, ул. Пермякова, 46.

⁴ Казанский федеральный университет,
Россия, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 4/5.

Актуальность. Модернизация инфраструктуры нефтегазового комплекса Западной Сибири и освоение северных территорий предполагает широкое использование местного нерудного сырья. В районах, практически непосредственно примыкающих к основным производственным центрам региона, еще в 1970–1980 гг. были разведаны значительные запасы опал-кристобалитовых пород – диатомитов и опок, которые характеризуются приповерхностным залеганием. Дефицит отдельных видов минерально-сырья в промышленном секторе севера Тюменской области составляет до 50–70 %, что формирует экономическую основу для разработки месторождений опал-кристобалитовых пород. Сягойский участок крупнейшего в приарктической зоне Арка-Табьяхинского месторождения, в силу особенностей геологического строения и приуроченности к параллельно-грядовому рельефу, можно считать репрезентативным примером месторождений опал-кристобалитовых пород севера Западной Сибири.

Цель работы: литологические исследования диатомовых глин и анализ перспектив освоения Сягойского участка Арка-Табьяхинского месторождения

Методы исследований: полевые исследования, рентгеноструктурный анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, дифференциальный термический анализ, сканирующая электронная микроскопия, литолого-петрографический анализ.

Результаты. Сягойский участок характеризуется значительными прогнозными ресурсами и сравнительно высоким качеством сырья. Главными лимитирующими освоение месторождения факторами являются экономические и геологические. Геоморфологические и геокриологические условия территории распространения параллельно-грядового рельефа в сочетании с общей льдистостью, достигающей 50–60 %, окажут критическое влияние на стоимость технологических операций, связанных с разработкой месторождения, транспортировкой, хранением и переработкой сырья, сделав освоение месторождения убыточным. Реальные перспективы разработки опал-кристобалитовых пород на Крайнем Севере Западной Сибири существуют для месторождений, сочетающих в себе близость к потенциальным потребителям сырья и находящихся вне зоны распространения параллельно-грядового рельефа.

Ключевые слова:

Опал-кристобалитовые породы, диатомит, диатомовая глина, литология, ирбитская свита, Западная Сибирь, Ямало-Ненецкий автономный округ, неметаллические полезные ископаемые, параллельно-грядовый рельеф.

Введение

Расширение и модернизация инфраструктуры нефтегазового комплекса Западной Сибири, освоение северных территорий предполагают широкое использование различных видов нерудного минерального сырья. Недостаток местных строительных материалов определяет необходимость импорта отдельных видов продукции из-за пределов региона, что влечет за собой рост цен для потребителей. По отдельным видам природного сырья в промышленном секторе севера Тюменской области дефицит составляет до 50–70 % [1, 2].

Сложности с вовлечением в промышленный оборот запасов минерального сырья зачастую связаны не столько с отсутствием необходимого объема полезных ископаемых, сколько с вопросами оптимального размещения того или иного месторождения по отношению к потребителям и наличием достаточной инфраструктуры для его освоения. Именно поэтому особого внимания заслуживает тот факт, что в районах, практически непосредственно примыкающих к основным промышленным центрам севера Тюменской области, еще в 70–80-х гг. были разведаны значительные запасы кремниевых опал-кristобалитовых пород – диатомитов и опок. Кремниевые породы в пределах региона имеют приповерхностное залегание и могут рассматриваться в качестве перспективного вида минерального сырья многоцелевого назначения. Следует отметить, что интерес к ресурсам опал-кristобалитовых пород и другого нерудного сырья севера Тюменской области возрастает в связи с необходимостью научного и экономического освоения Арктики [3–12].

В период с 1982 по 1993 гг. на севере Тюменской области в ходе геологоразведочных работ были детально разведаны и учтены Государственным балансом запасы двух месторождений опал-кristобалитовых пород – Арка-Табьяхинского (в Ямало-Ненецком автономном округе) и Акрышевского (в Ханты-Мансийском автономном округе). Значительные запасы и близость Арка-Табьяхинского месторождения опал-кristобалитовых пород к Уренгойскому газовому месторождению, по мнению первых исследователей [13, 14], создавали возможность долгосрочного использования данного минерального сырья при производстве различных материалов, востребованных при освоении и обустройстве нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений. По результатам проведенных в тот же период исследований и технологических испытаний было установлено, что опал-кristобалитовые породы севера Тюменской области могут быть использованы для производства термомолитового гравия, различных видов кирпича, гидравлических добавок в цементы, облегченных цементно-диатомовых растворов для крепления скважин. Вместе с тем в последнее время экономическая целесообразность разработки этих месторождений небезосновательно ставится под вопрос, в силу сложных для общераспространенных полезных ископаемых условий добычи.

Арка-Табьяхинское месторождение, в связи с его геологическим строением и приуроченностью к параллельно-грядовому рельефу [15], можно считать репрезентативным объектом для изучения и оценки других месторождений опал-кristобалитовых пород севера Западной Сибири, что и определяет актуальность настоящих исследований.

Объекты и методы исследований

Арка-Табьяхинское месторождение диатомитов и диатомовых глин расположено в низовьях р. Нгарка-Табьяха (уст. р. Арка-Табьяха), в Пуровском районе Ямало-Ненецкого автономного округа (рис. 1); впервые было выявлено по результатам поисково-оценочных работ на кремнисто-опаловое сырье в северных районах Тюменской области, проведенных в 1983–1985 гг. Тюменской комплексной геологоразведочной экспедицией [16]. Месторождение состоит из трех основных площадей: Меридиональной, Сидятойской и Хангегяхинской. Запасы Меридиональной и Сидятойской площадей диатомовых глин были оценены в объеме 11476,2 и 4390 тыс. м³ соответственно по категории С₂. Общие прогнозные ресурсы кремнистого сырья составляют 817,4 млн м³ по категории Р₁, из которых 750 млн м³ приходится на Меридиональную площадь, 67,4 млн м³ – на Сидятойскую. В качестве перспективного был выделен Сягойский участок, который является юго-восточным продолжением Арка-Табьяхинской зоны складчатого нагнетания и расположен в бассейне верхнего течения р. Сягохадуттэ (левый приток р. Пур) в 70 км к северо-востоку от г. Новый Уренгой (66°35'40" N, 71°16'45" E).

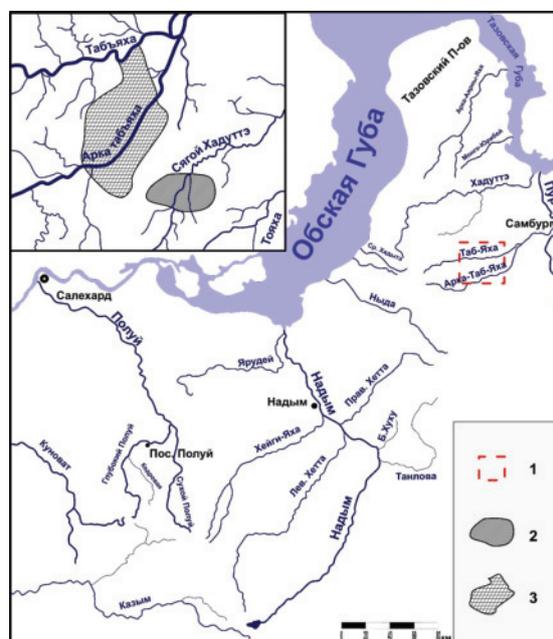


Рис. 1. Расположение объектов исследования: 1 – район распространения кремнистых пород; 2 – Сягойский участок; 3 – Арка-Табьяхинское месторождение

Fig. 1. Location of objects of research: 1 is the area of distribution of opal-cristobalite rocks; 2 is the Syagoy site; 3 is the Arka-Tabayakha deposit

Кремниевые породы месторождения представлены диатомитами, диатомовыми глинами и глинистыми диатомитами ирбитской свиты эоцена, выходящими на дневную поверхность на участках развития параллельно-грядового рельефа Арка-Табьяхинской зоны дислокаций.

В настоящей работе представлены результаты полевых и лабораторных исследований диатомовых глин Сягойского участка. Образцы пород для дальнейших аналитических и микроскопических исследований отобраны А.Н. Шадриним, П.В. Смирновым и А.Н. Васильевым в нижней части осыпи по правому борту ручья по профилю скважин 46 и 47 (данные отчета А.П. Каменского, 1986). В естественном виде диатомовые глины светлые, сизо-серые с буроватым оттенком.

Лабораторные исследования включали рентгеноструктурный анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, сканирующую электронную микроскопию, литолого-петрографический и термический анализ. Исследования общего химического и минерального составов были выполнены в Лаборатории изотопного и элементного анализа Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ (г. Казань) и ООО «Западно-Сибирский Геологический центр» (г. Тюмень). Исследования химического состава проводились на рентгенофлуоресцентном волнодисперсионном спектрометре S8 Tiger (Bruker, Германия). По-

лученная таблетка помещалась в спектрометр, где проходил анализ стандартизированной методикой Geoquant. Полученный спектр обрабатывался методом фундаментальных параметров, удалялись ошибки автоматического распознавания, паразитные пики, учитывались дифракционные явления и матричные эффекты, для учета неопределяемых элементов использовалась величина потерь при прокаливании. Изучение геологических образцов с использованием сканирующей электронной микроскопии на аппаратно-программном комплексе на базе растрового электронного микроскопа JEOL JSM 6510A выполнен в Тюменском индустриальном университете; литолого-петрографический анализ в шлифах произведен в ООО «Западно-Сибирский Геологический Центр». Для глинистой фракции отдельно показаны соотношение глинистых минералов и полный минералогический состав, включавший диагностику минералов, которые в виду малой размерности частиц принимают участие в формировании глинистой фракции, но к числу глинистых минералов не относятся.

Термический анализ выполнен в лаборатории физико-химических методов исследования Уральского научно-исследовательского химического института («УНИХИМ с ОЗ») в соответствии с методикой для исследования химических реакций, фазовых и других физико-химических превращений,

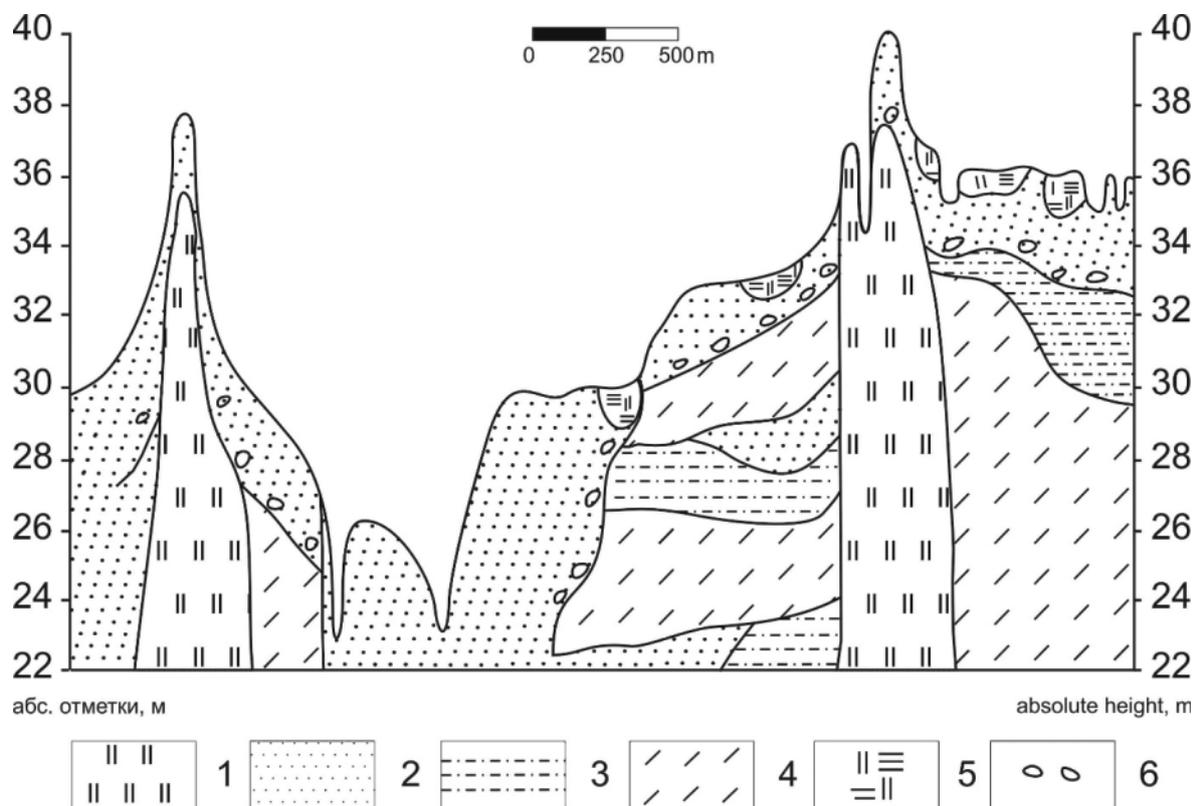


Рис. 2. Упрощенный геологический разрез Сягойского участка (по профилю I-I; по материалам Л.А. Миняйло, 1990): 1 – диатомовые глины; 2 – песок; 3 – глина песчаная; 4 – супесь; 5 – торф; 6 – галечный/гравийный материал

Fig. 2. Simplified geological section of the Syagoy section (along the I-I profile; according to the materials of L.A. Minyaylo, 1990): 1 is the clayey diatomite; 2 is the sand; 3 is the sandy clay; 4 is the sandy loam; 5 is the peat; 6 is the pebble/gravel material

происходящих под влиянием тепла в химических соединениях. Анализ производился на дериватографе MOM Q-1500 D венгерского производства при скорости подъема температуры 10 °С/мин, в диапазоне 20–1000 °С. С помощью дериватографа на одном образце можно одновременно определять потерю массы (кривая ТГ), скорость изменения массы (кривая ДТГ), тепловые эффекты (кривая ДТА) и изменение температуры (кривая Т).

Результаты определений, представленные в работе, являются усредненными: для рентгеноструктурного анализа – по 5 пробам, рентгенофлуоресцентного анализа – по 8, термического анализа – по 5. При исследованиях с помощью растрового электронного микроскопа выполнено 40 микрозондовых определений состава породообразующих минералов, получено и интерпретировано более 50 изображений.

Инженерно-геологические условия. В пределах Сягойского участка развит грядово-холмистый рельеф с перепадами высот 5–10 м и крутизной склонов до 20–40°. Наиболее глубокие ложбины обводнены и заболочены, в крутых бортах наблюдаются незадернованные осыпи супесей и глин шириной до 10 м (рис. 2). Диатомиты, алевритистые диатомиты и диатомовые глины залегают в ядрах криогенных бугров пучения, цепь которых образует параллельные гряды, четко дешифрируемые на аэрофото- и космоснимках (рис. 3).

Геокриологические условия отдельных гряд существенно различаются и обусловлены сочетанием локальных факторов, степенью дренированности, морфометрическими особенностями гряд и степенью трещиноватости пород. Высокая трещиноватость и брекчированность блоков кремнистых пород способствуют интенсивному формированию льда при промерзании. Морозобойное трещинообразование в залежах опал-кристаллитовых пород развито локально и по отношению к буграм и грядам пучения представляет собой явление вторичное и наложенное.

В целом для диатомовых глин характерна сильная изменчивость криогенного строения и высокая неравномерная по разрезу объемная льдистость, обусловленная содержанием льда-цемента и сегрегационного льда [17–20]. Диатомиты и диатомовые глины характеризуются наличием системы горизонтальных и наклонных прослоев льда толщиной 1–15 см с брекчевидными криогенными текстурами. В ядрах гряд до глубины около 10 м объемная льдистость диатомовых глин достигает 50–60 %, с глубиной постепенно уменьшается до 30–40 %. В песках, слагающих гряды и перекрывающих диатомиты, она равна 30–40 %, в межгрядовых понижениях – 15–25 % [15]. О значительной льдистости диатомитов и диатомовых глин свидетельствуют широкое развитие термокарстовых процессов и термокарстовых озер (рис. 3). Последние занимают межгрядовые понижения и по подсчетам на Арка-Табьяхинском месторождении составляют 2–3 %. Глубокие термокарстовые озера косвенно указывают, что силь-

нольдистые разности диатомитов и диатомовых глин при оттаивании будут давать усадку на 10–50 %, а в местах оттаивания крупных гидролакколитов еще выше [21, 22].

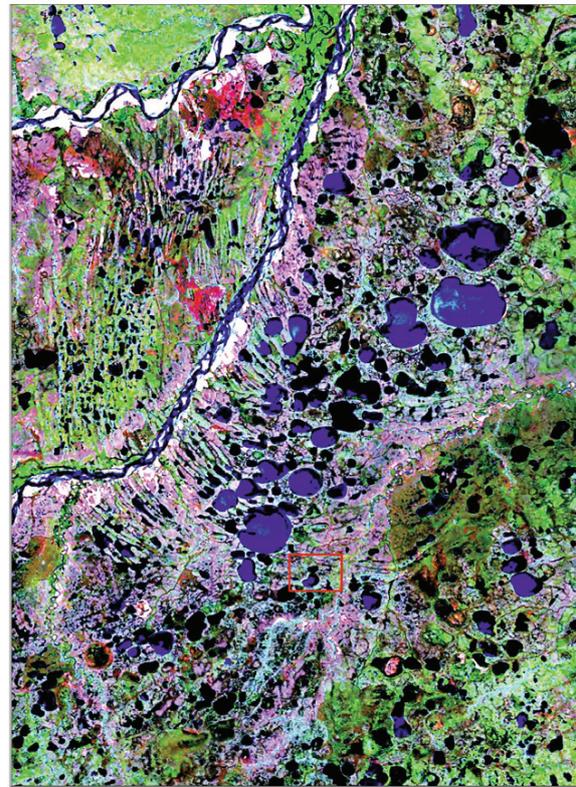


Рис. 3. Параллельно-грядовый рельеф и термокарстовые озера на территории Арка-Табьяхинского месторождения. Вид из космоса (по данным ASTER): 1 – Сягойский участок. Пространственное разрешение 30 м

Fig. 3. Parallel-ridge relief and thermokarst lakes in the territory of Arka-Tabayakha deposit. A view from outer space (according to ASTER): 1 is the Syagoy site. Spatial resolution is 30 m

Результаты

Литолого-петрографическая характеристика пород. Диатомиты состоят преимущественно из опалового кремнезема, который формирует панцири диатомовых водорослей. Для крупных кремнистых фоссилий характерна хорошая сохранность и поровое пространство, отмытое от глинистых минералов и без глобулей кремнезема (рис. 4, а, с, d). Присутствует незначительная примесь алевритового материала в виде обломков кварца, полевого шпата, реже глинистых минералов. Повсеместно наблюдаются глинистые минералы, преимущественно смектиты и гидрослюда с чешуйчатой и хлопьевидной морфологией частиц. Глины чаще ассоциируют между собой и с мелким диатомовым детритом, нередко образуя комковатые скопления (рис. 4, b), а в меньшей степени приурочены к крупным кремнистым микрофоссилиям (рис. 4).

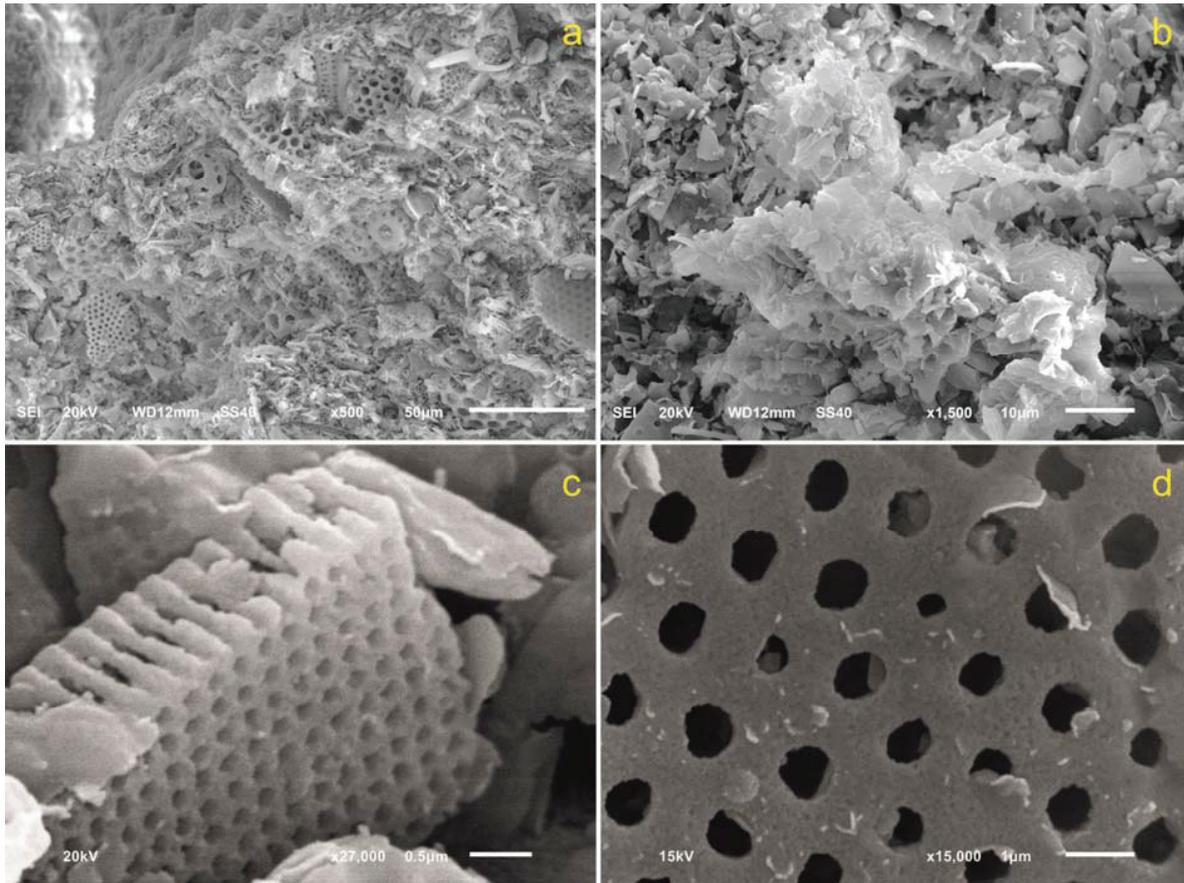


Рис. 4. Микроструктура диатомовых глин: а) общий вид; б) кремнисто-глинистые агрегаты; с, д) поровое пространство
Fig. 4. Microstructure of clayey diatomites: а) general view; б) siliceous-clay aggregates; с, д) porous space

При анализе доминирующих индексов-видов диатомовых водорослей изученные диатомиты можно отнести к комплексу *Coscinodiscus payeri* нижнего эоцена. Характерны *Pyxidicula moelleri* (A. Schmidt) *Strelnikova et Nikolaev*, *Coscinodiscus payeri* *Grunow*, *Moisseevia uralensis* (Jousé) *Strelnikova*, *Stephanopyxis turris* (Greville in Gregory) *Ralf in Pritchard*, *Grunowiella gemmata* (Grunow) *Van Hearck*, *P. grunowii* *Gleser*, *P. polaris* (Grunow) *Gleser*, *Anuloplicata concentrica* (Grunow) *Gleser*, *A. ornata* (Grunow) *Gleser*, *Stephanopyxis edita* *Jousé*, *Trinacria excavata* *Heiberg*, *T. regina* *Heiberg*, *T. heibergii* *Kitton*, *Stellarima microtrias* (Ehrenberg) *Hasle et Sims*, *Vallodiscus lanceolatus* *Suto*, *Costopyxis broschii* (Grunow) *Strelnikova et Nikolaev*, *Pseudotriceratium chenevieri* (Meister) *Gleser*, *Soleum exsculptum* *Heiberg*.

При литолого-петрографическом анализе (рис. 5) выявлено, что основная масса породы слабо отсортирована. Пустотное пространство нередко заполнено глинистым материалом с интерференционной окраской от светло-серого до желтого цвета, что характерно для гидрослюдистых минералов с примесью каолинита. На отдельных зернах минералов отмечаются следы частичного растворения и наличие глинистой каемки («рубашки»). Матрикс представлен микро-мелкорассеянной

смесью диатомовых обломков; составляет около 10 % от площади шлифа и распределен относительно равномерно. На терригенный материал приходится ~5 % от площади.

Таблица. Минеральный состав глинистой фракции
Table. Mineral composition of clay fraction

Минералы в составе глинистой фракции Minerals in clay fraction structure							
Монтмориллонит Montmorillonite	Хлорит Chlorite	Иллит Illite	ССО MLC	Каолинит Kaolinite	Цеолит Zeolite	Кварц Quartz	Полевой шпат Feldspar
Содержание собственно глинистых минералов, % Content of clay minerals, %							
27	37	9	15	12	–	–	–
Содержание всех видов минералов в глинистой фракции, % Content of all types of minerals in clay fraction, %							
18	25	6	10	8	7	20	6

Во всем поле шлифа наблюдаются слегка угловатые зерна кварца и полевого шпата. Полевой шпат обладает низкой интерференцией серого цвета, в пределах 1,53, что характерно для анортита. Также отмечено присутствие округлых изотропных зерен

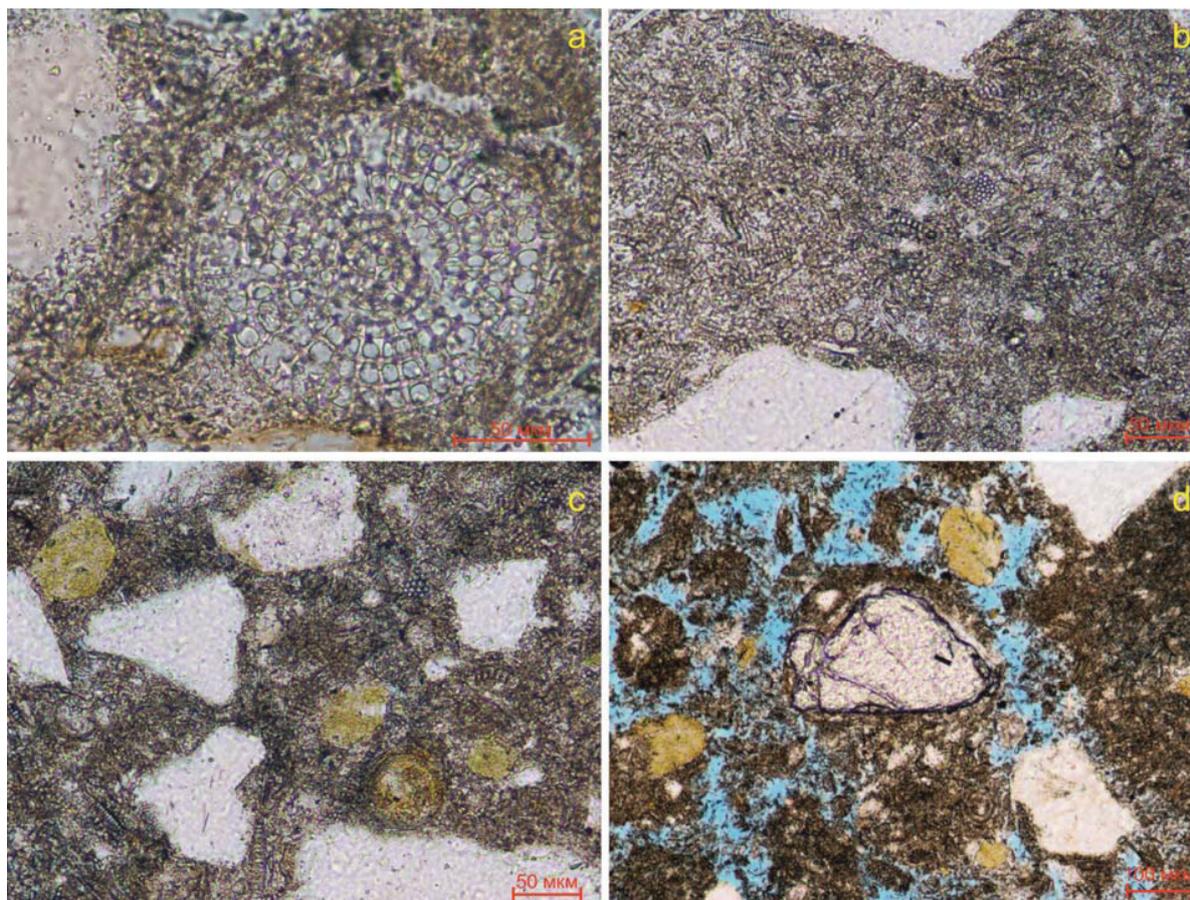


Рис. 5. Микроскопическое строение: а, б) раковины диатомовых водорослей и обломочный материал; в) глауконит (желтые зерна) и зерна кварца (белые); д) гранат (в центре) и глауконит (желтые зерна)

Fig. 5. Microscopic structure: а, б) diatom frustules and detrital material; в) glauconite (yellow grains) and grains of quartz (white); д) garnet (in the center) and glauconite (yellow grains)

глауконита всегда желтого цвета, который, как правило, формирует ассоциации зерен и нередко тяготеет к аналогичным скоплениям обломочного материала (рис. 5, с). Из аутигенных минералов встречаются кальцит и пирит, из акцессорных минералов – гранат, эпидот, цоизит, сфен и циркон.

В составе глинистой фракции преобладают монтмориллонит и хлорит (более половины), среди прочих минералов диагностированы цеолит (морденит), полевой шпат и кварц (таблица). Содержание последнего в глинистой фракции достигает 20 %.

В соответствии с результатами анализа кривых дифференциально-термического анализа и дифференциально-термогравиметрического анализа можно утверждать, что в целом характер обезвоживания характерен для глинистых минералов гидрослюдисто-монтмориллонитового типа. Диатомовые глины характеризуются четырьмя эндотермическими и двумя экзотермическими эффектами, а также не фиксируется резкого излома между потерей межслоевой воды (100 °С) и температурой потери воды из кристаллической решетки (500 °С). Эндотермический эффект в интервале 30–150 °С с максимумом в 107 °С связан с удалением адсорбированной

влаги и межпакетной воды из структуры глинистых минералов. Слабоинтенсивная экзотермическая реакция с максимумом 332 °С также типична для монтмориллонита и связана с окислением органического вещества. Эндотермический эффект 537 °С обусловлен выделением конституционной воды из гидрослюды. Эндотермический эффект с максимумом при 566 °С характерен для минералов монтмориллонита. Вторая экзотермическая реакция с максимумом 925 °С связана с перекристаллизацией аморфных продуктов разложения гидрослюды.

По данным рентгенофлуоресцентного анализа диатомовые глины относятся к числу высококремнеземистого сырья, среднее содержание SiO₂ – не менее 74 %, на Al₂O₃ и Fe₂O₃ приходится по 9,83 и 3,57 % соответственно. Остальные оксиды находятся в подчиненном положении: MgO (1,56 %), K₂O (1,12 %), TiO₂ (0,46 %), Na₂O (0,22 %), MnO (0,03 %), P₂O₅ (0,02 %).

Обсуждение

По содержанию основных минеральных фаз, диатомовые глины близки к диатомитам Зауралья и Казахстана [23–26], по содержанию диоксида

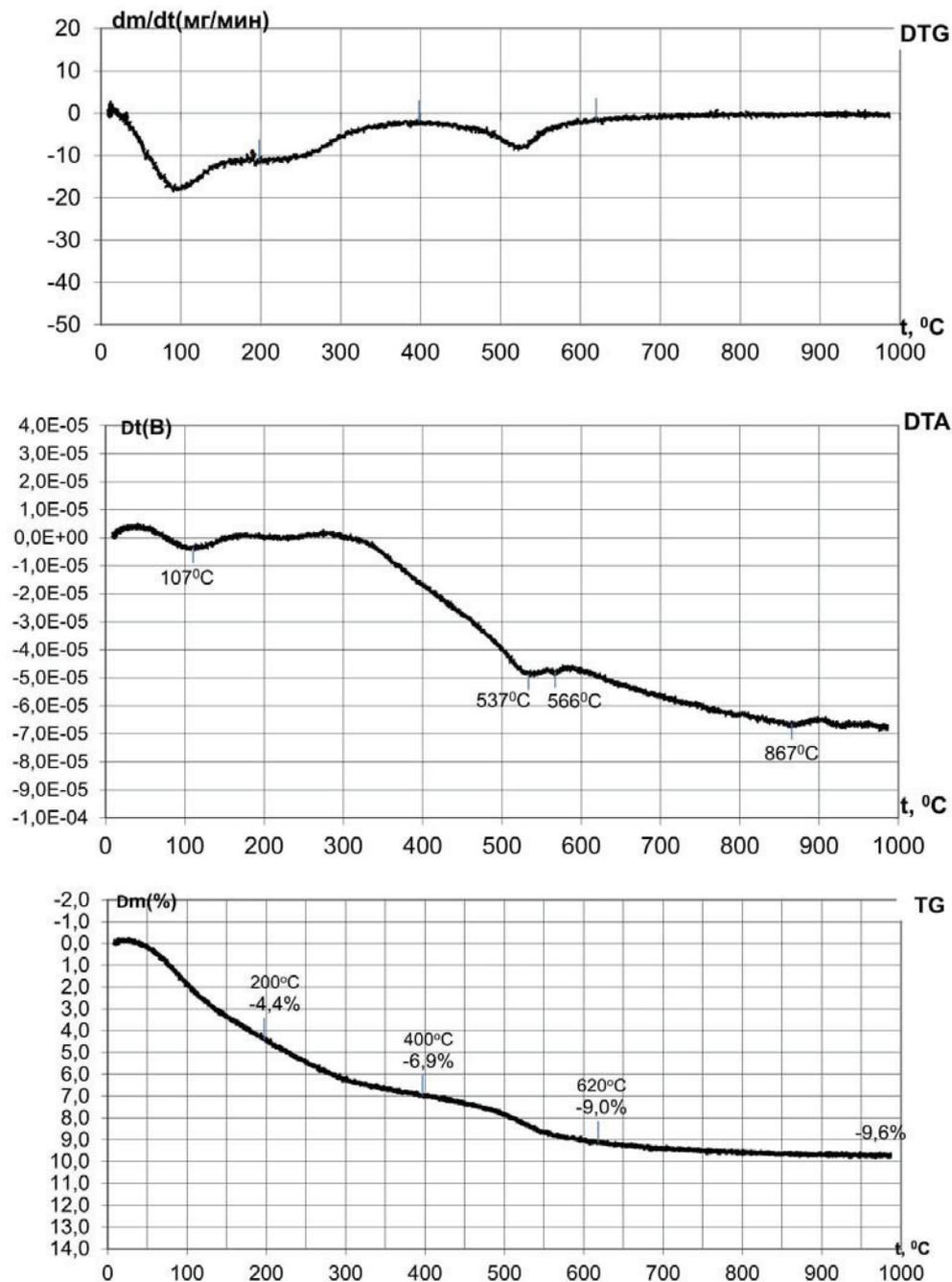


Рис. 6. Кривые дифференциально-термического анализа и дифференциально-термогравиметрического анализа

Fig. 6. Curves of differential-thermal analysis and differential-thermogravimetric analysis

кремния превосходят как глинистые разности диатомитов Зауралья [27] и Европейской части России [28], так и разности ряда месторождений зарубежных стран [29–32].

Таким образом, рассматриваемые породы исходя из результатов исследований литологических особенностей пригодны как сырье для производства большинства строительных и конструкционных материалов, что согласуется с результатами технологических испытаний, выполненных в 80-х гг.

Для использования изученных пород при производстве фильтровальных порошков или сорбентов, потребуется повысить содержание кремнезема до 80 % и снизить содержание Al_2O_3 до 5 %. Вместе с тем, учитывая реальные потребности предприятий севера Тюменской области именно в строительных материалах, переработка диатомитов и диатомовых глин для нужд отраслей, отличных или несмежных с промышленностью строительных материалов, представляется маловероятной.

Химический и минеральный составы кремниевых пород не являются единственными критериями их пригодности для промышленного использования. Существенными факторами, ограничивающими возможность разработки перспективного участка, являются геокриологические и геоморфологические условия и удаленность от объектов инфраструктуры. Геоморфологические и геокриологические особенности участков распространения параллельно-грядового рельефа обуславливают высокую неоднородность пород продуктивной толщи, усложняя возможность подсчета реально извлекаемых запасов полезного ископаемого [20]. Общая льдистость пород в пределах таких участков, которая с учетом содержания льда-цемента в породе может достигать 50–60 %, окажет критическое влияние на стоимость технологических операций, связанных с разработкой месторождения, транспортировкой, хранением и переработкой сырья, делает проект освоения этого и аналогичных по инженерно-геологическим условиям месторождений убыточным.

В пределах Надым-Пурского междуречья сильнольдистыми являются только породы, слагающие криогенные бугры и гряды. На участках, где эти формы отсутствуют, льдистость незначительна: это относится к юго-западной части Тазовского полуострова и бассейнам р. Нижняя, Средняя и Верхняя Хадыта [17]. По всей видимости, реальные перспективы разработки опал-кристаллитовых пород на Крайнем Севере Западной Сибири существуют именно для таких месторождений – сочетающих в себе близость к потенциальным потре-

бителям сырья и относительно благоприятные экономические и инженерно-геологические условия их освоения.

Заключение

Результаты изучения диатомовых глин Сягойского участка свидетельствуют о том, что данные породы по своим свойствам, химическому составу, сохранности и составу диатомовой флоры сопоставимы с кремниевыми породами крупных месторождений Зауралья и других регионов Западной Сибири.

При планировании практического использования и разработке проектов промышленного освоения участка должно быть принято во внимание, что:

- 1) диатомовые глины Сягойского участка соответствуют комплексу *Coscinodiscus payeri* нижнего эоцена, что роднит их с крупными месторождениями Зауралья по ряду технологических свойств;
- 2) по соотношению SiO_2 : Al_2O_3 : Fe_2O_3 (74,53:9,83:3,57) породы относятся к сырью, пригодному для производства широкого ряда строительных материалов;
- 3) в составе глинистой фракции велико содержание кварца (до 20 %), среди собственно глинистых минералов преобладают хлорит и монтмориллонит;
- 4) геоморфологические и геокриологические условия являются существенными ограничивающими факторами для промышленной добычи кремнистого сырья в регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотовская Ю.Б. Стратегические направления реконструкции производства, инфраструктуры и социальной сферы Ямало-Ненецкого автономного округа до 2030 г. // Инновационные технологии управления социально-экономическим развитием регионов России: Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с Международным участием. – Уфа, 2015. – С. 61–66.
2. Стратегия социально-экономического развития Ямало-Ненецкого Автономного Округа / В.И. Суслов и др. // Регион: экономика и социология. – 2003. – № 3. – С. 3–38.
3. Татаркин А.И., Захарчук Е.А., Логинов В.Г. Современная парадигма освоения и развития Арктической зоны Российской Федерации // Экономика и управление народным хозяйством Арктической зоны. – 2015. – Т. 18. – № 2. – С. 4–13.
4. Татаркин А.И., Литовский В.В. Россия в Арктике: стратегические приоритеты комплексного освоения и инфраструктурной политики // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. Соц.-экон. науки. – 2014. – Т. 17. – № 3. – С. 573–587.
5. Dobretsov N.L., Pokhilenko N.P. Mineral resources and development in the Russian Arctic // Russian Geology and Geophysics. – 2010. – № 1. – P. 98–111. DOI: 10.1016/j.rgg.2009.12.009
6. Observing trends and assessing data for Arctic mining / S. Haley et al. // Polar Geography. – 2011. – V. 34. – № 1–2. – P. 37–61. DOI: 10.1080/1088937X.2011.584449
7. Avango D., Nilsson A.E., Roberts P. Assessing Arctic futures: voices, resources and governance // Polar Geography. – 2013. – V. 3. – № 2. – P. 37–61. DOI: 10.1080/2154896X.2013.790197
8. Стратегия освоения и изучения минерально-сырьевых ресурсов российской Арктики и Субарктики в условиях перехода к устойчивому развитию / Д.А. Додин и др. // Литосфера. – 2010. – № 6. – С. 3–24.
9. Russia in the Arctic / ed. by J. Stephen. – Blank Carlisle: Strategic Studies Institute, 2011. – 153 p.
10. Mineral Resources in the Arctic / ed. by R. Boyd, T. Bjerkgård, B. Nordahl, H. Schiellerup. – Trondheim: Geological Survey of Norway, 2016. – 484 p.
11. Sentsov A. The Arctic zone: possibilities and risks of development / A. Sentsov, Y. Bolsunovskaya, E. Melnikovich // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – V. 43. – № 1. DOI: 10.1088/1755-1315/43/1/012100
12. The Economy of the North 2008 / Statistics Norway. URL: https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/sa112_en/sa112_en.pdf (дата обращения: 09.06.2017).
13. Геолого-промышленная оценка и эффективность использования опал-кристаллитовых пород Тюменской области / П.П. Генералов и др. // Геология нерудного сырья Западной Сибири: труды ЗапСибНИГНИ. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1987. – С. 10–18.
14. Астапов А.П. Основные направления развития сырьевой базы стройиндустрии Северной зоны Тюменского нефтегазового комплекса // Геология нерудного сырья Западной Сибири: труды ЗапСибНИГНИ. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1987. – С. 18–27.
15. Генералов П.П. Параллельно-грядовый рельеф Западной Сибири и основные аспекты его геологического анализа // Геология позднего кайнозоя Обского Севера: труды ЗапСибНИГНИ. – Тюмень, ЗапСибНИГНИ, 1981. – С. 51–70.

16. Каменских А.П. Оценка запасов кремнисто-опаловых пород на севере Тюменской области на основе первых результатов геологоразведочных работ // Опалиты Западной Сибири: труды ЗапСибНИГНИ. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1987. – С. 110–114.
17. Миняйло Л.А. Криогенное строение приповерхностных залежей эоценовых опалитов на севере Западной Сибири // Опалиты Западной Сибири: труды ЗапСибНИГНИ. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1987. – С. 95–99.
18. Генералов П.П., Миняйло Л.А. Строение приповерхностных залежей опаловых пород Тюменской области // Комплексное освоение минерально-сырьевых ресурсов Западной Сибири: труды ЗапСибНИГНИ. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1985. – С. 109–112.
19. Трофимов В.Т., Ваду Ю.Б., Дубиков Г.И. Криогенное строение и льдистость многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской плиты. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 246 с.
20. Смирнов П.В., Константинов А.О. Кремниевые породы Севера Тюменской области: литология, условия залегания и особенности подсчета запасов // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета. Т. 1. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – Т. 1. – С. 259–260.
21. Thermokarst and Thaw-Related Landscape Dynamics – an Annotated Bibliography with an Emphasis on Potential Effects on Habitat and Wildlife / ed. by B.M. Jones, C.L. Amundson, J.C. Koch. – Reston: U.S. Geological Survey, 2013. – 60 p.
22. Karlsson J.M. Thermokarst lake, hydrological flow and water balance indicators of permafrost change in Western Siberia / J.M. Karlsson, S.W. Lyon, G. Destouni // Journal of Hydrology. – 2012. – V. 464–465. – P. 459–466.
23. Микроструктура перспективных теплоизоляционных материалов на основе диатомитов Среднего Поволжья / В.П. Селяев и др. // Строительные материалы и изделия. – 2013. – № 1. – С. 12–17.
24. Структурные, спектроскопические и теплофизические исследования природных диатомитов некоторых месторождений Республики Казахстан / В.П. Селяев и др. // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 1. – С. 5–10.
25. Смирнов П.В. Результаты комплексных исследований вещественного состава диатомитов Ирбитского месторождения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 6. – С. 93–104.
26. Смирнов П.В., Константинов А.О. Сравнительные исследования эоценовых и палеоценовых диатомитов Зауралья (на примере Камышловского месторождения и разреза Брусая) // Известия Томского Политехнического Университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 11. – С. 96–102.
27. Смирнов П.В., Константинов А.О. Диатомовые глины Шадринского месторождения (Курганская область) // Георесурсы. – 2016. – Т. 18. – № 3. – Ч. 2. – С. 240–244.
28. Селяев В.П., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И. Рентгеноструктурные и рентгеноспектральные исследования цеолитосодержащих пород Атяшевского и Татарско-Шатрашанского месторождений Среднего Поволжья // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 3. – С. 13–18.
29. Bogoevski S., Jančev S., Boškovski B. Characterization of diatomaceous earth from the Slavishko pole locality in the republic of Macedonia // Geologica Macedonica. – 2014. – V. 28. – № 1. – P. 39–43.
30. Iliá I.K., Stamatakis M.G., Perraki T.S. Mineralogy and technical properties of clayey diatomites from north and central Greece // Central European Journal of Geosciences. – 2009. – V. 1. – № 4. – P. 393–403. DOI:10.2478/v10085-009-0034-3
31. Stamatakis M.G., Hein J.R., Magganis A.C. Geochemistry and diagenesis of Miocene lacustrine siliceous sedimentary and pyroclastic rocks, Mytilinii basin, Samos Island, Greece // Sedimentary Geology. – 1989. – V. 64. – № 1–3. – P. 65–78.
32. Pedersen S.A.S. Paleogene diatomite deposits in Denmark: geological investigations and applied aspects // Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin. – 2008. – № 15. – P. 21–24.

Поступила 28.06.2017 г.

Информация об авторах

Смирнов П.В., заместитель директора НОЦ «Геология нефти и газа» Тюменского индустриального университета; научный сотрудник Института геологии и палеонтологии технического университета Клаусталь.

Константинов А.О., специалист НОЦ «Геология нефти и газа» Тюменского индустриального университета.

Шадрин А.Н., начальник отдела минеральных ресурсов Сибирского научно-аналитического центра.

Баталин Г.А., научный сотрудник Казанского федерального университета.

Гареев Б.И., научный сотрудник Казанского федерального университета.

Новоселов А.А., специалист НОЦ «Геология нефти и газа» Тюменского индустриального университета.

Нафигин Р.Р., научный сотрудник Казанского федерального университета.

UDC 552.086; 552.581

SYAGOY SITE OF ARKA-TABAYAKHA CLAYEY DIATOMITE DEPOSIT: LITHOLOGY OF ROCKS AND MINING POTENTIAL

Pavel V. Smirnov^{1,2},
geolog.08@mail.ru

Alexander O. Konstantinov¹,
konstantinov.alexandr72@gmail.com

Andrey N. Shadrin³,
shadrin_a_n@sibsac.ru

Georgii A. Batalin⁴,
g@batalin.com

Bulat I. Gareev⁴,
bulat@gareev.net

Andrey A. Novoselov¹,
mr.andreygeo@mail.ru

Ramazan R. Nafigin⁴,
Ramzantez-lotus@mail.ru

¹ Tyumen Industrial University,
38, Volodarsky Street, Tyumen, 625000, Russia.

² Technische Universität Clausthal, Adolph-Roemer-Strasse,
2A, Clausthal-Zellerfeld, 38678, Germany.

³ Siberian Scientific Analytical Center,
46, Permyakov Street, Tyumen, 625016, Russia.

⁴ Kazan Federal University,
4/5, Kremlevskaya Street, Kazan, 420008, Russia.

Relevance. Modernization of infrastructure of the oil and gas complex of Western Siberia and development of the northern territories require the widespread use of local non-metallic raw materials. In areas that are almost directly adjacent to the main industrial sites in 1970–1980-s the colossal reserves of opal-cristobalite rocks – diatomites and opoka, were explored. They have a near-surface occurrence and industrial practice of their use in dozens of industries. Deficiency of natural raw materials in industrial sector of the north of the Tyumen region amounts to 50–70 %. This creates an economic basis for development of deposits of opal-cristobalite rocks. The Syagoy site – the largest in the near-Arctic zone Arka-Tabyakha deposit, due to its geological structure and confinement to the parallel-ridge relief, can be considered as a representative of other deposits of opal-cristobalite rocks in the north of Western Siberia.

The main aim is the study of lithology of clayey diatomite of Syagoy site and analysis of engineering-geological conditions of Syagoy site, with a view to assess the economic feasibility of developing the field.

The methods: field studies, X-ray diffraction, X-ray fluorescence analysis, differential thermal analysis, scanning electron microscopy, lithological and petrographic analysis.

The results. The Syagoy site has huge forecast resources and relatively high quality of raw materials, however, the main limiting factors for development of deposit are economic and geological factors. The geomorphological and geocryological conditions of the territory of the parallel-ridge relief along with the total ice content of 50–60 % will have a critical impact on the cost of technological operations related to field development, transportation, storage and processing of raw materials, making the development of such deposits unprofitable. Real prospects for development of opal-cristobalite rocks in the Far North of Western Siberia exist for deposits that combine proximity to potential consumers of raw materials and do not form cryogenic hillocks and ridges.

Key words:

Opal-cristobalite rocks, diatomite, clayey diatomite, lithology, Irbit formation, Western Siberia, Yamalo-Nenets Autonomous District, non-metallic minerals, parallel-ridge relief.

REFERENCES

1. Zolotovskaya Yu.B. Strategicheskie napravleniya rekonstruktsii proizvodstva, infrastruktury i sotsialnoy sfery Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga do 2030 [Strategic directions of reconstruction of production, infrastructure and social sphere of

the Yamalo-Nenets Autonomous District until 2030]. *Innovatsionnye tekhnologii upravleniya sotsialno-ekonomicheskim razvitiem regionov Rossii. Materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s Mezhdunarodnym uchastiem* [Innovative technologies of management of social and economic development

- of Russian regions. Materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation]. Ufa, 2015. pp. 61–66.
2. Suslov V.I., Brekhuntsov A.M., Levinzon I.L., Korzhubaev A.G., Kharitonova V.N., Churashev V.N., Kontorovich A.E. Social and economic development strategy for the Yamalo-Nenets autonomous district. *Region: economics and sociology*, 2003, no. 3, pp. 3–38. In Rus.
 3. Tatarkin A.I., Zakharchuk E.A., Loginov V.G. Sovremennaya paradigma osvoeniya i razvitiya Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii [The modern paradigm of development of the Arctic zone of the Russian Federation]. *Economics and management of the national economy of the Arctic zone*, 2015, vol. 18, no. 2, pp. 4–13.
 4. Tatarkin A.I., Litovskiy V.V. Russia in the Arctic: Strategic Priorities for Integrated Development and Infrastructure Policy. *Vestnik of MSTU*, 2014, vol. 17, no. 3, pp. 573–587. In Rus.
 5. Dobretsov N.L., Pokhilenko N.P. Mineral resources and development in the Russian Arctic. *Russian Geology and Geophysics*, 2010, no. 1, pp. 98–111. DOI: 10.1016/j.rgg.2009.12.009
 6. Haley S., Klick M., Szymoniak N., Crow A. Observing trends and assessing data for Arctic mining. *Polar Geography*, 2011, vol. 34, no. 1–2, pp. 37–61. DOI: 10.1080/1088937X.2011.58444
 7. Avango D., Nilsson A.E., Roberts P. Assessing Arctic futures: voices, resources and governance / D. Avango, A.E. Nilsson, P. Roberts. *Polar Geography*, 2013, vol. 3, no. 2, pp. 37–61. DOI: 10.1080/2154896X.2013.790197
 8. Dodin D.A., Kaminsky V.D., Zolov K.K., Koroteev V.A. Strategiya osvoeniya i izucheniya mineralno-syryevykh resursov rossiyskoy Arktiki i Subarkтики v usloviyakh perekhoda k ustoychivomu razvitiyu [A strategy of assimilation and study of Russian Arctic and Subarctic mineral product base in condition of passage to steady development]. *Litosphere*, 2010, no. 6, pp. 3–24.
 9. *Russia in the Arctic*. Ed. by J. Stephen. Blank Carlisle, Strategic Studies Institute, 2011. 153 p.
 10. *Mineral Resources in the Arctic*. Ed. by R. Boyd, T. Bjerkgård, B. Nordahl, H. Schiellerup. Trondheim, Geological Survey of Norway, 2016. 484 p.
 11. Sentsov A., Bolsunovskaya Y., Melnikovich E. The Arctic zone: possibilities and risks of development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 43, no. 1. DOI: 10.1088/1755-1315/43/1/012100
 12. *The Economy of the North 2008*. Statistics Norway. Available at: https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/sa112_en/sa112_en.pdf (accessed 9 June 2017).
 13. Generalov P.P., Plenkin A.P., Stepanov L.A., Minyaylo L.A., Gurdin Yu.G. Geologo-promyshlennaya otsenka i effektivnost ispolzovaniya opal-kristobalitovykh porod Tyumenskoy oblasti [Geological and commercial evaluation of the effectiveness of using opal-cristobalite rocks Tyumen region]. *Geologiya nerudnogo syr'ya Zapadnoy Sibiri: trudy ZapSibNIGNI* [Geology of non-metallic raw materials of Western Siberia]. Tyumen, ZapSibNIGNI Publ., 1987. pp. 10–18.
 14. Astapov A.P. Osnovnye napravleniya razvitiya syrevooy bazy stroyindustrial'noy Severnoy zony Tyumenskogo neftegazovogo kompleksa [The main directions in development of raw materials base of the construction industry in the Northern zone of the Tyumen oil and gas complex]. *Geologiya nerudnogo syr'ya Zapadnoy Sibiri: trudy ZapSibNIGNI* [Geology of non-metallic raw materials of Western Siberia]. Tyumen, ZapSibNIGNI Publ., 1987. pp. 18–27.
 15. Generalov P.P. Parallelnno-gryadovyy relief Zapadnoy Sibiri i osnovnye aspekty ego geologicheskogo analiza [Parallel-ridge relief of Western Siberia and the main aspects of its geological analysis]. *Geologiya pozdnego kaynozoya Ob'skogo Severa: trudy ZapSibNIGNI* [Geology of the late Cenozoic of the Ob North]. Tyumen, ZapSibNIGNI Publ., 1981. pp. 51–70.
 16. Kamenskikh A.P. Otsenka zapasov kremnistoo-palovykh porod na severe Tyumenskoy oblasti na osnove pervykh rezultatov geologorazvedochnykh rabot [Estimation of reserves of siliceous-opaline rocks in the north of the Tyumen region on the basis of the first results of geological exploration]. *Opalitey Zapadnoy Sibiri: trudy ZapSibNIGNI* [Opalites of Western Siberia]. Tyumen, ZapSibNIGNI Publ., 1987. pp. 110–114.
 17. Minyaylo L.A. Kriogennoe stroenie pripoverkhnostnykh zalezhey eotsenovykh opalitev na severe Zapadnoy Sibiri [Cryogenic structure of near-surface deposits of Eocene opalites in the north of Western Siberia]. *Opalitey Zapadnoy Sibiri: trudy ZapSibNIGNI* [Opalites of Western Siberia]. Tyumen, ZapSibNIGNI Publ., 1987. pp. 95–99.
 18. Generalov P.P., Minyaylo L.A. Stroenie pripoverkhnostnykh zalezhey opalovykh porod Tyumenskoy oblasti [The structure of near-surface deposits of opaline rocks in Tyumen region]. *Kompleksnoe osvoenie mineralno-syryevykh resursov Zapadnoy Sibiri: trudy ZapSibNIGNI* [Integrated development of mineral resources in Western Siberia]. Tyumen, ZapSibNIGNI Publ., 1985. pp. 109–112.
 19. Trofimov V.T., Badu Y.B., Dubikov G.I. Kriogennoe stroenie i ldistost mnogoletnemerzlykh porod Zapadno-Sibirskoy plity [Cryogenic structure and ice content of perennial frozen rocks of the West Siberian Plate]. Moscow, MGU Publ., 1980. 246 p.
 20. Smirnov P.V., Konstantinov A.O. Kremniyevye porod Severa Tyumenskoy oblasti: litologiya, usloviya zaleganiya i osobennosti podscheta zapasov [Siliceous rocks of the North of Tyumen region: lithology, conditions of occurrence and features of reserves calculation]. *Problemy geologii i osvoeniya nedr. Trudy XX Mezhduнародного simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchenykh, posvyashchennogo 120-letiyu so dnya osnovaniya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Problems of Geology and Subsurface Development: Proc. of the 20th International Scientific Symposium of students, Postgraduates and young Scientists devoted to the 120th Anniversary of the founding of Tomsk Polytechnic University]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. House, 2016. P. I, 821 p.
 21. *Thermokarst and Thaw-Related Landscape Dynamics – an Annotated Bibliography with an Emphasis on Potential Effects on Habitat and Wildlife*. Ed. by B.M. Jones, C.L. Amundson, J.C. Koch. Reston, U.S. Geological Survey, 2013. 60 p.
 22. Karlsson J.M., Lyon S.W., Destouni G. Thermokarst lake, hydrological flow and water balance indicators of permafrost change in Western Siberia. *Journal of Hydrology*, 2012, vol. 464–465, pp. 459–466.
 23. Selyaev V.P., Neverov V.A., Kupriyashkina L.I., Kolotushkin A.V., Sidorov V.V. Mikrostruktura perspektivnykh teploizolyatsionnykh materialov na osnove diatomitov Srednego Povolzhya [Microstructure of perspective thermal insulating materials made of diatomite from Middle Volga region]. *Regional architecture and construction*, 2013, no. 1, pp. 12–17.
 24. Selyaev V.P., Nurlybaev R.E., Mamim B.F., Neverov V.A., Kupriyashkina L.I. Strukturnyye, spektroskopicheskie i teplofizicheskie issledovaniya prirodnykh diatomitov nekotorykh mesotorozhdeniy Respubliki Kazakhstan [Structural, spectroscopic and thermal researches of natural diatomite of some fields of the republic of Kazakhstan]. *Regional architecture and construction*, 2015, no. 1, pp. 5–10.
 25. Smirnov P.V. Results of comprehensive studies of diatomite material composition from Irbit deposit. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 6, pp. 93–104. In Rus.
 26. Smirnov P.V., Konstantinov A.O. Comparative studies of Eocene and Paleocene diatomite from Trans-Urals (on the example of Kamyshev deposit and section Brusyana). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 11, pp. 96–102. In Rus.

27. Smirnov P.V., Konstantinov A.O. Diatomaceous Clay of Shadrinsky deposit (Kurgan Region). *Georesources*, 2016, vol. 18, no. 3, pp. 240–244. DOI: 10.18599/grs.18.3.16 In Rus.
28. Selyaev V.P., Neverov V.A., Kupriyashkina L.I. Rentgenostrukturnye i rentgenospektralnye issledovaniya tseolitso-derzhashchikh porod Atyashevskogo i Tatarsko-Shatrashanskogo mestorozhdeniy Srednego Povolzhya [X-ray diffraction and X-ray spectral studies of zeolite-bearing rocks of the Atiaşevo and Tatar-Shatrashanskoye deposits of the Middle Volga region]. *Regional architecture and construction*, 2014, no. 3, pp. 13–18.
29. Bogoevski S., Jančev S., Boškovski B. Characterization of diatomaceous earth from the Slavishko pole locality in the Republic of Macedonia. *Geologica Macedonica*, 2014, vol. 28, no. 1, pp. 39–43.
30. Ilija I.K., Stamatakis M.G., Perraki T.S. Mineralogy and technical properties of clayey diatomites from north and central Greece. *Central European Journal of Geosciences*, 2009, vol. 1, no. 4, pp. 393–403. DOI: 10.2478/v10085-009-0034-3
31. Stamatakis M.G., Hein J.R., Magganis A.C. Geochemistry and diagenesis of Miocene lacustrine siliceous sedimentary and pyroclastic rocks, Mytilinii basin, Samos Island, Greece. *Sedimentary Geology*, 1989, vol. 64, no. 1–3, pp. 65–78.
32. Pedersen S.A.S. Paleogene diatomite deposits in Denmark: geological investigations and applied aspects. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin*, 2008, no. 15, pp. 21–24.

Received: 28 June 2017.

Information about the authors

Pavel V. Smirnov, deputy director, Research Education Center, Tyumen Industrial University.

Alexander O. Konstantinov, specialist, Research Education Center, Tyumen Industrial University.

Andrey N. Shadrin, head of Department, Siberian Scientific Analytical Center.

Georgii A. Batalin, scientific researcher, Kazan Federal University.

Bulat I. Gareev, scientific researcher, Kazan Federal University.

Andrey A. Novoselov, specialist, Research Education Center, Tyumen industrial university.

Ramazan R. Nafigin, scientific researcher, Kazan Federal University.