

УДК 553.578; 553.575

ДИАТОМИТЫ И ОПОКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА: ЛИТОЛОГИЯ, СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Смирнов Павел Витальевич¹,
geolog.08@mail.ru

Жакипбаев Бибол Ермуратович²,
bibol.ye.zhakipbayev@mail.ru

Староселец Дмитрий Андреевич³,
d_star1997@mail.ru

Дерягина Оксана Ивановна³,
deriaginaoksanaszgc@yandex.ru

Баталин Георгий Александрович⁴,
g@batalin.com

Гареев Булат Ирекович⁴,
bulat@gareev.net

Вергунов Алексей Викторович³,
alexeivergunov@rambler.ru

¹ Тюменский научный центр СО РАН,
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Малыгина 86.

² Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова,
Казахстан, 160012, г. Шымкент, пр. Тауке хана, 5.

³ Тюменский государственный университет,
Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6.

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

Актуальность. В последние десятилетия отдельные исследования в Республике Казахстан были направлены на расширение потенциала использования пород крупных и имевших историю промышленной эксплуатации месторождений силицитов с целью ревизии их физико-химических, минералогических параметров и оценки перспектив расширения их применения в новых отраслях и технологиях в строительном и техническом материаловедении, основанных на глубокой химической переработке минерального сырья. В статье приведены новые данные о химико-минералогических и структурных параметрах диатомитов Утесайского месторождения и опок Таскалинского месторождения Республики Казахстан.

Цель: комплексный анализ пород химико-минерального состава и структурно-текстурных особенностей пород с двух крупнейших месторождений кремниевого сырья в Западной части Казахстана – Утесайского месторождения диатомитов и Таскалинского месторождения опок.

Объекты: диатомиты Утесайского и опоки Таскалинского месторождений западной части Республики Казахстан.

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

Результаты. Для изученных диатомитов и опок характерна высокая степень однородности, они представлены типичными фазами для кремниевых пород региона – опал-кристобалит-тридимит (опал-СТ), глинистые минералы с примесью кварца и полевых шпатов. С минералогической точки зрения самым очевидным отличием изученных диатомитов от зауральских является существенное содержание каолинита – свыше 10 %, в то время как в диатомитах Зауралья главным глинистым компонентом является смектит и смешаннослойные шлит-смектитовые образования. Рассматриваемые горные породы являются глинистыми диатомитами и глинистыми опоками, общее содержание основных оксидов позволяет характеризовать сырье как среднего качества, наиболее подходящее для производства пеностекляных материалов, и, в частности, стеклотити, при производстве которой глинозем является важным функциональным компонентом. Вместе с тем существенное содержание глинистых и иных примесей не позволяет рекомендовать такое сырье для изготовления фильтровальных и сорбирующих материалов.

Ключевые слова:

диатомит, опока, сырье, силициты, нерудные полезные ископаемые, Казахстан.

Введение

В пределах обширной и геологически сложно построенной территории Казахстана в период проведения геолого-поисковых, картировочных и геологоразведочных работ установлены крупные зоны приповерхностного залегания и выходы на поверхность кремниевых пород. Местами указанные отложения формируют «столовые» возвышенности площадью в несколько десятков квадратных километров [1, 2]. Подобные масштабы распространения делают отдельные, например, западные регионы Казахстана – в

районе Эмбы, Актюбинска и др. – одними из крупнейших ресурсных центров кремниевого сырья (диатомитов и опок) в Евразии, уступающим по суммарному потенциалу, вероятно, только северным и западным провинциям Западной Сибири [3].

Интерес к изучению кремниевых пород в различных аспектах является глобальной тенденцией и определяется широкими возможностями их использования для создания на основе одного вида минерального сырья множества промышленных узлов, ориентированных на производство новых видов вы-

сокотехнологичной продукции, современных композитных и фильтровальных материалов [4–7]. Для старых горнозаводских районов (Средний и Южный Урал, Зауралье, север Казахстана и др.) внедрение в промышленный оборот нетрадиционных видов сырья рассматривается как возможность диверсификации экономики, преодоления импортозависимости и нарастающей диспропорции между производственными мощностями по добыче и переработке сырья.

В Западном Казахстане широко известны месторождения диатомитов, опок и трепелов, пригодных для производства цемента (Утесайское, Киргизское, Шиповское) и теплоизоляционных изделий (Кок-Нора, Испай-Булак). В отличие от месторождений Среднего и Южного Зауралья – Ирбитского, Камышловского, Шадринского и др. [8], находящихся в эксплуатации или подготовленных к ней, месторождения Казахстана изучены несравнимо меньше, а с момента открытия и первичного изучения в 1970–1980 гг. для них не выполнялись работы по ревизии/доизучению их ресурсного потенциала и детальной диагностики технологически значимых свойств. По данным У.Г. Дистанова [1], кроме основных объектов минерально-сырьевой базы, поставленных на государственный баланс, перспективные участки располагаются к северо-востоку и юго-востоку от г. Эмба – как в виде площадей приповерхностного залегания, так и в виде возвышенностей (Ак-Чай, Музбель, Бес-Тау, Ак-Тюбе, Кундузды и др.). Общий ресурсный потенциал оценивался не менее чем в 0,5–1 млрд м³ [1], а по мнению В.В. Юриша – свыше 3–4 млрд м³, из которых на Жалпакское поле диатомитов площадью 84 км² приходится рекордные 1,8 млрд м³ [2].

В последние десятилетия отдельные исследования были направлены на расширение потенциала использования пород крупных и имевших историю промышленной эксплуатации месторождений силикатов – Утесайского и Таскалинского – в отраслях, преимущественно связанных с разработкой строительных [9–11], конструкционных и отделочных материалов [12], для очистки воды [13], которые базировались на ранее сформированных рекомендациях к использованию этого сырья. В Республике Казахстан перспективы использования кремниевых пород палеогена связывают именно с развитием технологий пеностекла, как по причине потенциальной востребованности подобных материалов на местном рынке, так и в связи с тем, что силикато- и стеклообразование может протекать при температурах, близких к области вспенивания пеностекла, что облегчает технологическую реализацию таких проектов. Экспериментально доказаны возможности получения пеностекла путем низкотемпературной обработки опоки при температурах ниже 900 °С непосредственно из сырьевой смеси на основе аморфнокремнеземистых пород, минуя процесс стекловарения [14–17]. Несмотря на это, данные по базовым месторождениям минерально-сырьевой базы кремниевых пород остаются весьма фрагментированными.

Целью настоящей работы является обобщенный анализ потенциала использования диатомитов Утесайского месторождения и опок Таскалинского ме-

сторождения на основе изучения их химико-минерального состава и структурно-текстурных параметров.

Объекты и методы исследования

Краткая история изучения месторождений кремниевых сырья в Сибирско-Центрально-Азиатском регионе

Следует отметить, что ревизия запасов минерально-сырьевой базы кремниевых пород в регионе не выполнялась в течение десятилетий, что позволяет оперировать преимущественно данными, относящимися ко второй половине XX в.

Первое районирование ресурсной базы кремниевых пород в Сибирском регионе и смежных с ним территориях Северного и Западного Казахстана включало разделение всего макрорегиона на Зауральскую, Северо-Казахстанскую и Восточно-Казахстанскую зоны (субпровинции) [18]. В дальнейшем по мере разворачивания геолого-съёмочных работ с бурением картировочных скважин и геолого-минералогического картирования в западной и северной частях Западной Сибири были определены границы, перспективные участки и ресурсный потенциал [19]. В обзоре И.И. Нестерова с соавторами [3] приведен самый исчерпывающий к настоящему моменту обзор минерально-сырьевой базы кремниевых пород палеогена Зауралья и Западной Сибири, где на основании инженерно-геологических условий и перспектив разработки было предложено новое разделение провинции. В силу фрагментарности фактического материала данные по казахстанским месторождениям в этой работе представлены в неполной мере. Относительно хорошо изученная Зауральская субпровинция объединяет разведанные месторождения диатомитов и опок в регионе в Среднем и Южном Зауралье в долинах рек Сосьва, Лозьва, Тура, Ница, Ирбит, Пышма, Миасс и др. Северо-Казахстанская субпровинция (Тургайско-Приаральский регион) в систематике У.Г. Дистанова [18] рассматривалась как продолжение Зауральской на юго-восток и была связана с последней общностью условий формирования, физико-химических параметров пород продуктивной толщи и геолого-инженерных условий. Такое же сходство, особенно в части геолого-инженерных условий и двухчастного строения разреза (ниже залегающие опоки + выше залегающие диатомиты), характерно и для месторождений Западного Казахстана. Наиболее крупные месторождения региона с момента открытия в 1950–1970 гг. повторно не изучались.

Региональная стратиграфия и геологические условия

Морской палеоген Северного и отчасти Восточного Приаралья впервые подробно описан в [20] с использованием актуальной на тот момент стратиграфической номенклатуры. Работа Яншина подвела итог интенсивных двадцатилетних полевых исследований и глубокой проработки имеющихся материалов по плато Устюрт и удаленным районам бывшего СССР и Западной Европы [20, 21]. Разрезы палеогена более северных участков, вплоть до Западно-Сибирской низменности, увязываются между собой и

с приаральскими. Для зауральских, западносибирских и казахстанских кремниевых пород было установлено сходство в строении морской палеогеновой серии и деление на три формации. По мнению А.Л. Яншина [20], по литохимическому составу на севере Тургая распространены формации: нижняя – кремнисто-глауконитовая, средняя – кремнистая и верхняя – пирит-сидеритовая. К югу наблюдается некоторая смена состава пород формаций при сохранении общего их типа. Кремнисто-глауконитовая формация в Приаралье становится глауконитово-кремнистой (в ней преобладает роль хемогенного кремнезема), а пирит-сидеритовая формация, обедняясь железом, становится пирит-известковой. Последние микропалеонтологические исследования эоценовых отложений в смежной территории – в разрезе скв. 57 (Восточный Прикаспий) – выполнены Т.В. Орешкиной с соавторами [22]. Седиментационные циклы и палеогеографическую конфигурацию эпиконтинентальных бассейнов в пределах Западно-Сибирского и смежных с ним северного и частично Западного Казахстана исследовал В.И. Железко [23].

В приэмбинском районе месторождения кремниевых пород связаны с отложениями раннего эоцена – акчатской свиты ипра и лютета – это своего рода аналог главного продуктивного горизонта в Зауралье ирбитской свиты $F_{1г}$ [3]. Акчатская свита $F_{1ак}$ (ипр –

лютет) сложена светлыми, почти белыми, трепелами и диатомитами, чистыми легкими опоками. В верхней части свиты присутствуют слои листоватых глин, а ближе к источникам сноса – также слои алевритов и мелкозернистых песков. Обычно акчатская свита согласно залегает на отложениях тыкбутакской свиты, однако в области унаследованных антиклинальных поднятий и вблизи Мугоджар, а также на Ор-Илекской возвышенности наблюдается явно трансгрессивное налегание пород акчатской свиты на разновозрастные отложения палеогена и мела. Мощность свиты 20–40 м. Стратиграфическое положение акчатской свиты определено по радиоляриям, диатомовым водорослям и силикофлагеллятам А.И. Кротовой и К.Г. Шибковой [24]. Географическое распространение: восточная окраинная часть ипрско-танетского морского бассейна в Восточном Прикаспии.

Район исследования и отбор проб

Объектами изучения стали валовые пробы диатомитов и опок (по три с каждого) с двух месторождений Западного Казахстана – Утесайского месторождения диатомитов и Таскалинского месторождения опок (рис. 1). Данные по общему геологическому строению месторождений, истории изученности, запасам приведены по [25].

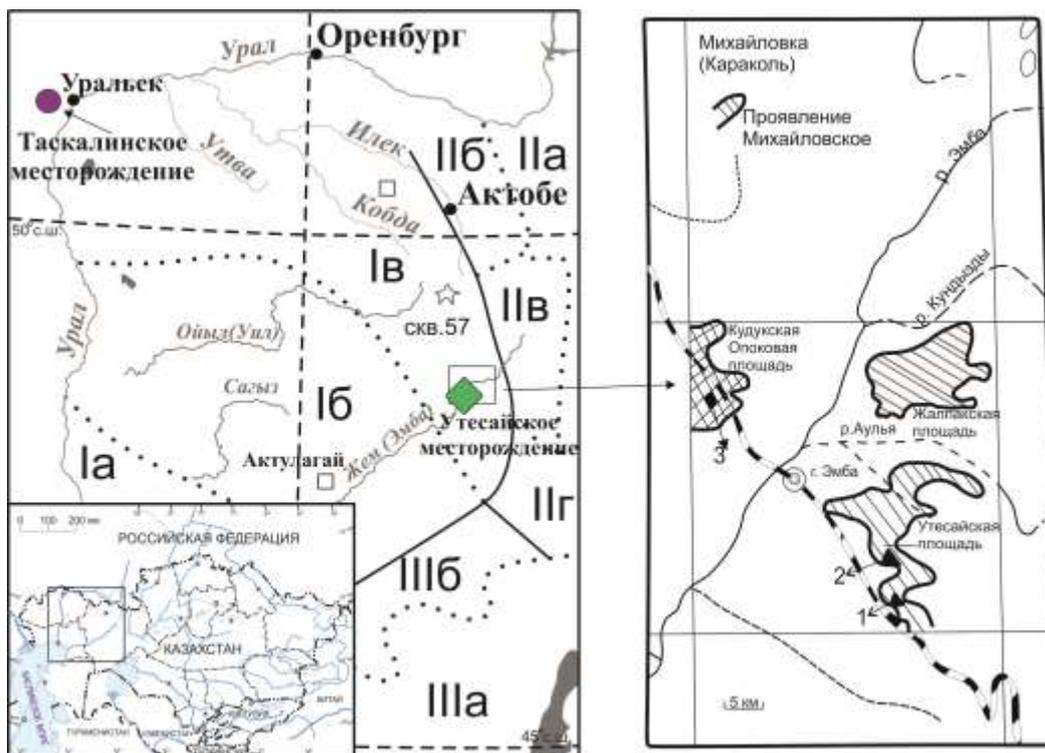


Рис. 1. Обзорная карта с указанием месторасположения Таскалинского и Утесайского месторождений по [2]. Фациально-структурные зоны и районы Восточного Прикаспия [2, 26]: I – восточная часть Прикаспийской впадины (Ia – Южно-Эмбинский; Ib – Сагизско-Уильский; Ic – Утвинско-Хобдинский); II – Казахский Урал и его периферия (IIa – Казахский Урал; IIб – Актыбинское Приуралье; IIв – Западное Примугоджарье; IIг – Южное Примугоджарье); III – Устюрт (IIIa – плато Устюрт; IIIб – Предустюртская равнина); IV – Бузачи

Fig. 1. Overview map showing the location of the Utesai and Taskala deposits by [2]. Facies-structural zones and regions of the Eastern Pre-Caspian [2, 26]: I – eastern part of the Pre-Caspian depression (Ia – South Emba; Ib – Sagiz-Uil; Ic – Utvinsko-Khobda); II – Kazakh Urals and its periphery (IIa – Kazakh Urals; IIb – Aktobe Cis-Urals; IIc – Western Primogodzharye; IId – Southern Primogodzharye); III – Ustyurt (IIIa – Ustyurt plateau; IIIb – Pre-Ustyurt plain); IV – Buzachi

Утесайское месторождение диатомитов расположено в Мугоджарском районе Актюбинской области Казахстана, в 211 км юго-восточнее г. Актюбинска, 2 км северо-восточнее ж.-д. станции Киргизская (Кыргыз), и связано с ней грунтовой дорогой. Открыто в 1969 г. В.А. Зотовым, В.А. Лобанчук, В.И. Карповым. Изучалось в 1973–1974 гг. В.А. Зотовым, в 1980 г. В.И. Карповым, О.К. Тимофеевым, Р.Х. Шакировым. Приурочено к Бахытбайскому антиклинорию и представлено пластом диатомита эоценового возраста, залегающим горизонтально на разновозрастных опоках и опоковидных глинах (рис. 2, А). Протяжение его восток-северо-восточное, длина 1800 м, ширина 900 м, мощность 0,5–18 м (средняя 1,09 м). Пласт выдержан по мощности, выклинивание его постепенное.

Запасы диатомита, учтенные государственным балансом на 01.01.96 г., составляют по категориям В+С 16899 тыс. м³, в том числе по В – 4442 тыс. м³; С₁ – 12457 тыс. м³; по С₂ – 10721 тыс. м³. Месторождение разрабатывается открытым способом. За период отработки добыто порядка 3 тыс. м³ диатомита. Максимальная проектная глубина карьера 21 м. Коэффици-

ент вскрыши 0,43. Месторождение не обводнено. Прирост запасов возможен за счет перевода запасов категории С₂ в промышленные, а также доразведки диатомита на северо-восточном фланге, где продуктивная толща имеет значительные площади распространения.

Таскалинское месторождение опок относится к Каменскому ресурсному району и локализовано в Каменском районе Западно-Казахстанской области Казахстана, в 1,7–2,8 км к юго-востоку от ж.-д. станции Шипово. Открыто в 1959 г. В.В. Литошко, позже, в 1964 г., изучалось С.В. Толоконушковым. Месторождение в геологическом отношении расположено в пределах Прикаспийской впадины и представлено горизонтальной пластообразной залежью опок палеоценового возраста, перекрытой палеоценовыми песками и плиоцен-четвертичными суглинками (рис. 2, В). Длина залежи 1200 м, ширина 400 м, мощность 6,64–28,7 м (средняя 18,3 м), глубина залегания кровли 0,2–6 м.

Для проведения лабораторных и микроскопических исследований было отобрано шесть валовых проб по 3 кг. Три пробы диатомитов на Утесайском месторождении и три пробы опок на Таскалинском.

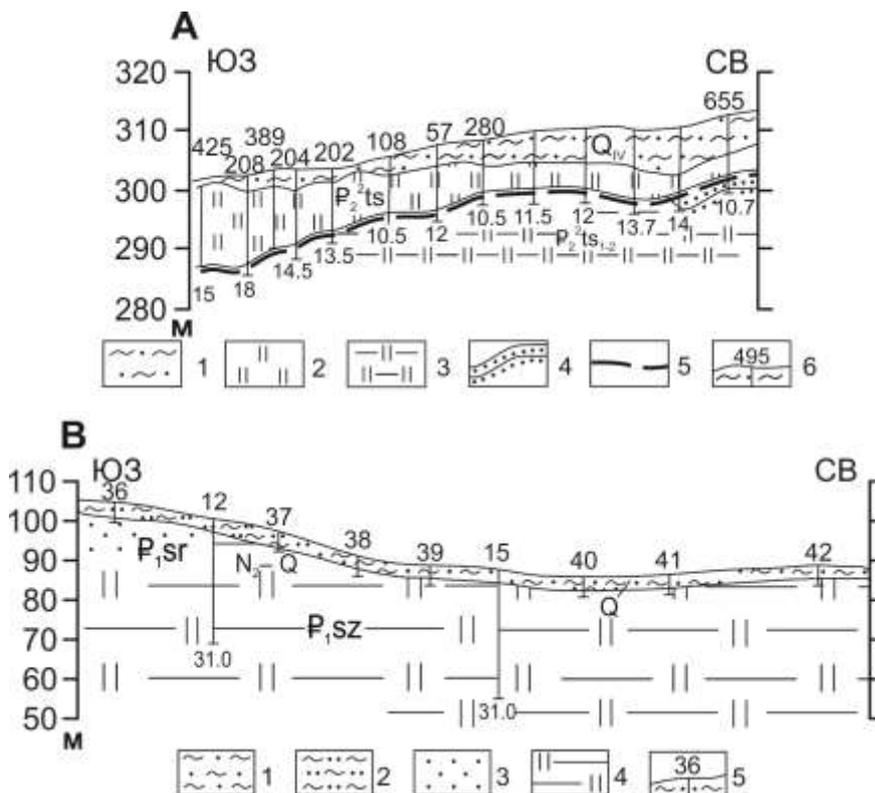


Рис. 2. Геологические разрезы (по данным геологических отчетов Зотова и др., 1969, 1973–1974 гг.) [25]: А – Утесайского месторождения диатомитов: 1 – песчано-гравийные отложения четвертичные; 2–4 – отложения эоцена, тасаранская свита: 2 – диатомит акчатской свиты, 3 – опока, 4 – песчаник тикбутацкой подсвиты; 5 – контур подсчета запасов; 6 – скважины и их номера; В – для месторождения Шиповского рудного узла (Таскалинское месторождение опок): 1 – суглинки четвертичные; 2 – суглинки плиоцен-четвертичные; 3, 4 – отложения палеоцена: 3 – пески саратовского яруса, 4 – опоки сызранского яруса; 5 – скважины и их номера

Fig. 2. Geological sections (according to the geological reports of Zotov et al., 1969, 1973–1974) [25]: А – Utesai diatomite deposit: 1 – Quaternary sand and gravel deposits; 2–4 – Eocene deposits, Tasaran Formation: 2 – diatomite of the Akchat Formation, 3 – opoka, 4 – sandstone of the Tikbutak subformation; 5 – contour of reserves calculation; 6 – wells and their numbers; В – for the deposit of the Shipovsky ore cluster (Taskala opoka deposit included): 1 – Quaternary loams; 2 – Pliocene-Quaternary loams; 3, 4 – Paleocene deposits: 3 – sands of the Saratov stage, 4 – flasks of the Syzran stage; 5 – wells and their numbers

Лабораторные исследования

Лабораторные исследования включали в себя стандартный литолого-петрографический анализ в шлифах, изучение методами рентгенодифракционного, рентгенофлуоресцентного и синхронного термического анализов, сканирующую электронную микроскопию.

Литолого-петрографические исследования в шлифах выполнены на поляризационном микроскопе Olympus-BX53. Изучение минерального состава выполнено рентгеноструктурным методом на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4 с дальнейшей обработкой дифрактограмм на программной платформе GeoQuant, с помощью которого удалялись ошибки автоматического распознавания и паразитные пики. Дифрактограммы диатомитов и опок получены для порошковых проб. Синхронный термический анализ выполнен на приборе STA 409PG (Netzch) в окислительной воздушной среде с максимальной температурой 1000 °С; скорость нагрева 10 К/мин; материал тигля Pt-Rh, Al₂O₃. Образец – около 30 мг порошка.

Электронная сканирующая микроскопия проводилась на аппаратно-программном комплексе на базе растрового электронного микроскопа JEOL JSM 6510A. Пространственное разрешение до 2,5 нм, ускоряющее напряжение до 20 кВ с током пучка от 3,5 до 15 нА. Номенклатура глинистых минералов дается в соответствии с последними рекомендациями по номенклатуре глинистых минералов [27]. Определение содержания полутормых оксидов проводилось на рентгенофлуоресцентном волнодисперсионном спектрометре S8 Tiger (Bruker, Германия) в Лаборатории изотопного и элементного анализа Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского Федерального университета (г. Казань).

Результаты и обсуждение

Диатомиты и опоки белого, светло-серого цвета, местами со слабым желтоватым оттенком, лёгкие, пористые, с органогенно-детритовой структурой и однородной текстурой.

Химико-минеральный состав

Основным компонентом в химическом составе диатомитов Утесайского месторождения является SiO₂, его содержание составляет 68,83–68,88 % (табл. 1). В подчиненном количестве содержатся Al₂O₃ (12,29–12,48 %) и Fe₂O₃ (1,96–2,11 %).

Основным в минеральном составе является кремнезем разной степени кристалличности. Аморфная фаза биогенного опала проявляется на дифрактограммах для диатомитов Утесайского месторождения в виде характерного гало в интервале 19–24 град. углов 2θ (рис. 3, а). Кварц, содержащийся в небольшом количестве, был идентифицирован по достаточно узким пикам с межплоскостными расстояниями 4,25Å, 3,34Å. В небольшом количестве в диатомитах содержатся обломки полевых шпатов. Соответствующие им рефлексы со значениями межплоскостных расстояний, равными 3,24Å, имеют значительно меньшую

интенсивность, относятся к калиевым полевым шпатам – ортоклазам. Их рефлексы присутствуют лишь на некоторых полученных дифрактограммах (рис. 3, а). Иллита содержится 1–7 %, рефлексы с межплоскостными расстояниями 9,93Å с невысокой интенсивностью. Каолинита в образцах значительно больше, чем иллита. Его содержание изменяется в пределах от 8 до 18 %. Рефлексы каолинита более широкие со значениями межплоскостных расстояний 7,14Å, 7,18Å, 7,21Å и 3,57Å. Разные значения межплоскостных расстояний могут говорить об особенностях структуры каолинита и возможных в нём примесей. Минеральный состав для трех проб диатомитов Утесайского месторождения приведен в табл. 2, с указанием средних значений для изученных пород.

Таблица 1. Химический состав диатомитов Утесайского месторождения и опок Таскалинского месторождения

Table 1. Chemical composition of diatomites of the Utesai deposit and opoka of the Taskala deposit

Элементы Elements	Диатомит/Diatomite			Опока/Opoka		
	у-21-1	у-21-2	у-21-3	тск-21-1	тск-21-2	тск-21-3
SiO ₂	68,88	68,84	68,83	75,53	81,79	78,41
Al ₂ O ₃	12,30	12,48	12,29	4,46	5,55	4,02
Fe ₂ O ₃	1,96	2,08	2,11	6,67	2,63	5,17
K ₂ O	1,04	1,08	1,05	1,85	1,03	1,84
MgO	0,965	1,02	1,02	0,433	0,796	0,387
CaO	0,365	0,317	0,360	1,21	0,395	1,21
TiO ₂	0,599	0,626	0,602	0,593	0,270	0,551
Na ₂ O	0,682	0,623	0,682	–	0,220	–
SO ₃	0,0536	0,033	0,0476	0,0652	0,0222	–
P ₂ O ₅	0,0229	–	–	1,17	0,0427	1,15
V ₂ O ₅	–	–	0,0348	0,0389	0,0194	–
Cl	0,411	0,390	0,407	0,0583	–	–
NiO	0,0048	0,0043	0,0035	–	0,0047	0,0088
ППИ/LOI	12,7	12,5	12,6	7,93	7,23	7,26

Примечание/Notes: – нет данных/no data.

Основным компонентом в химическом составе опок Таскалинского месторождения является SiO₂, его среднее содержание варьирует в диапазоне от 75,53 до 81,79 % (табл. 1). В подчиненном количестве содержатся Al₂O₃ (4,02–5,55 %) и Fe₂O₃ (2,63–6,67 %).

На дифрактограммах опок в области углов 2θ со значениями 19–24 град. проявляется опал-кристобалит-тридимитовая фаза с преобладающим кристобалитовым мотивом (рис. 3, б). Кристобалит определялся по интенсивным широким рефлексам со значениями 4,10Å и менее интенсивным 2,50Å. Рефлексы тридимита заметно меньшей интенсивности с межплоскостными расстояниями 4,30Å. Опал на дифрактограммах яркой выраженности в данном случае не имеет, поскольку его содержится меньше, чем в диатомитах. Он входит в состав леписфер, обнаруженных при помощи метода СЭМ, им сложены многочисленные створки диатомей и спиккулы губок, которые были идентифицированы в петрографических шлифах при микроскопических исследованиях с использованием поляризационного микроскопа. Кварца в опоках содержится в пределах 11–14 %. Основной пик кварца узкий наиболее интенсивный с

межплоскостным расстоянием 3,34Å. Второстепенные рефлексы 4,25Å, 1,82Å с заметно меньшей интенсивностью. На долю полевых шпатов приходится не более 1–3 %. На дифрактограммах отмечены слабо-выраженные рефлексы с межплоскостными расстояниями 3,19Å, соответствующие плагиоклазам (рис. 3, b).

Также для минерального состава данных опок характерно присутствие иллита. Его рефлексы имеют разную интенсивность и выраженность, а межплоскостные расстояния равны 9,93Å. Минеральный состав для трех проб опок Таскалинского месторождения приведен в табл. 2.

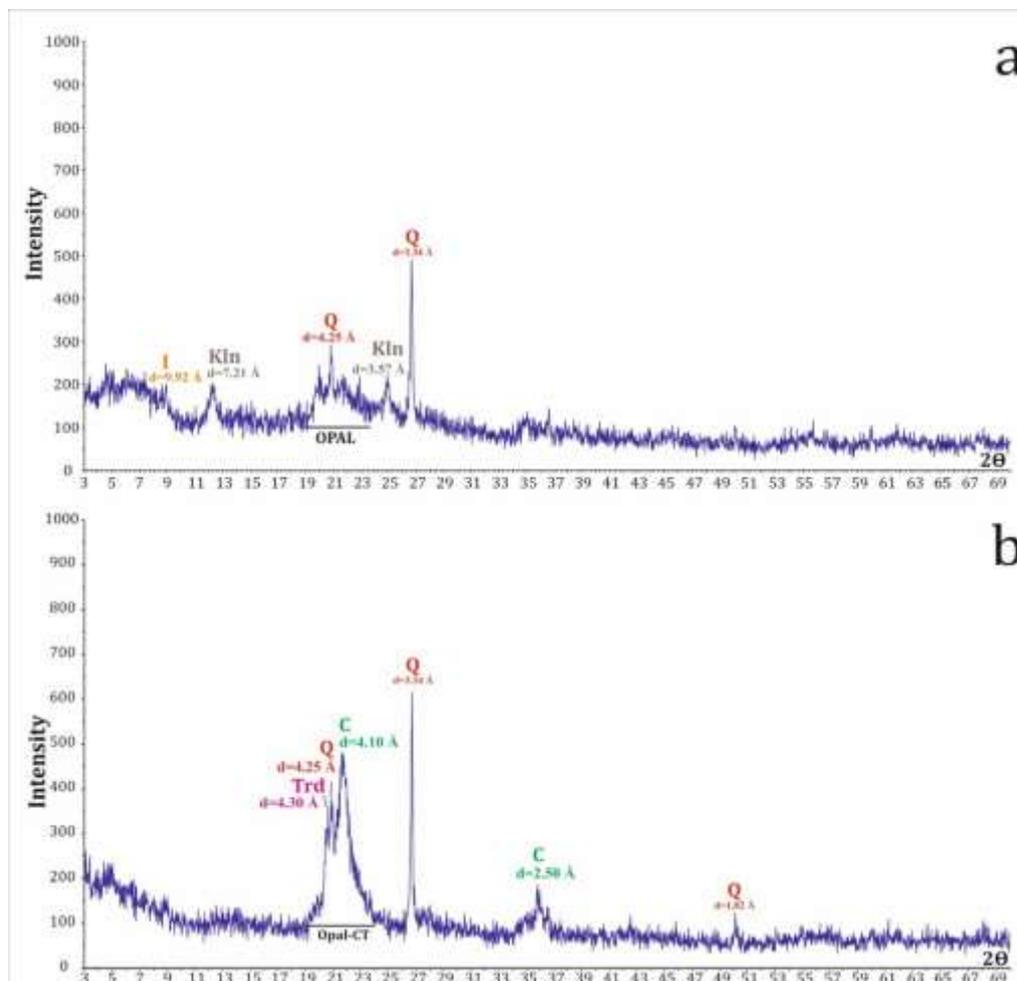


Рис. 3. Репрезентативные рентгенограммы и минеральные фазы в диатомитах Утесайского (a) и опоках Таскалинского месторождений (b): Q – кварц; Kln – каолинит; I – иллит; C – кристобалит; Trd – тридимит, Opal-CT – опал-кристобалит-тридимит

Fig. 3. Representative X-ray diffraction patterns and mineral phases in diatomites from the Utesayskoe (a) and opoka of the Taskala deposits (b): Q – quartz; Kln – kaolinite; I – illite; C – cristobalite; Trd – tridymite, Opal-CT – opal-cristobalite-tridymite

По данным термического анализа диатомитов Утесайского месторождения, в интервале 35–200 °C происходит выделение адсорбционной воды и связанной воды из опала с общей потерей массы в пределах – 3,26–3,41 % (первый эндоэффект). В интервале 200–400 °C фиксируется потеря связанной воды (2,78–2,92 %). Эндоэффект с пиком 512 °C соответствует выделению воды из каолинита, в интервале 600–1000 °C незначительная потеря массы (менее 0,5 %) указывает на малое содержание иллитовых минералов. Общая потеря массы в диатомитах до 1000 °C составляет порядка 10,0 % (рис. 4, a).

Результаты термических исследований опок Таскалинского месторождения свидетельствуют о наличии одного эндотермического эффекта с пиком

111–113 °C, обусловленного выделением адсорбционной воды и связанной воды из опала (рис. 4, b).

Структурно-текстурные параметры кремниевых пород

По данным литолого-петрографического анализа изученных пород установлено, что диатомиты Утесайского месторождения сложены преимущественно мелкими (от 0,007 до 0,03 мм) обломками створок диатомей (рис. 5). Целые створки и панцири составляют 25–30 % от объема породы. Размеры целых створок диатомей варьируются в пределах от 0,02 до 0,04 мм. Редко встречаются спикулы губок, их совокупное содержание не превышает 1 %. Длина спикул составляет 0,05 мм, ширина 0,008 мм. Диатомовые водоросли и спикулы губок сложены чистым прозрачным опа-

лом. Обломки створок диатомовых водорослей часто перемешаны с мельчайшими (0,005 мм и менее) чешуйками каолинита и иллита.

Таблица 2. Минеральный состав диатомитов Утесайского месторождения и опок Таскалинского месторождения

Table 2. Mineral composition of diatomites of the Utesai deposit and opoka of the Taskala deposit

Порода Rock	Шифр пробы Sample code	Содержание/Content, %				
		Опал + халцедон Opal + chalcedony	Кварц Quartz	Полевые шпаты Feldspar	Иллит Illite	Каолинит Kaolinite
Диатомит Diatomite	y-21-1	56,8	15,0	3,3	7,0	17,9
	y-21-2	69,1	8,9	<1	3,2	18,8
	y-21-3	79,8	10,8	<1	1,3	8,1
	среднее значение average value	68,6	11,6	1,1	3,8	14,9
Опока Opoka	тск-21-1	86,1	13,9	<1	<1	<1
	тск-21-2	82,7	14,9	1,1	1,3	<1
	тск-21-3	80,8	10,8	3,2	5,2	<1
	среднее значение average value	83,2	13,2	1,4	2,2	<1

Примесь алевритового материала в диатомите составляет 10–15 %, и представлена она угловатыми и полуокатанными обломочными зёрнами размером 0,02 мм и менее. Обломки кварца чистые прозрачные, с нормальным погасанием, без регенерационных каёмочек. Полевые шпаты представлены плагиоклазами кислого состава и составляют 2–3 %. Содержание обломков пород (преимущественно микрокварцита) не превышает 1 %. В общей массе устанавливаются единичные бесцветные чешуйки мусковита.

Особенностью рассматриваемых диатомитов является содержащийся в них халцедон. Он имеет криптористаллическую структуру, частично, а иногда полностью, замещает отдельные створки диатомей и спиккулы губок, целиком заполняет свободное пространство внутри панцирей диатомей. Также локально им заполнены промежутки между породообразующими структурными элементами (рис. 5, b). Рудные минералы – менее 1 %, чёрного цвета, мелкие (0,005 мм и менее) зёрна пирита. Акцессорные минералы – эпидот.

Опоки Таскалинского месторождения имеют светло-серую, серую окраску, со слабым желтоватым оттенком, лёгкие, пористые, некарбонатные, со следами жизнедеятельности роющих организмов, трещиноватые. Микроструктура леписферная, локально пелито-алевритовая. Микротекстура биогенная, обусловлена следами жизнедеятельности роющих организмов.

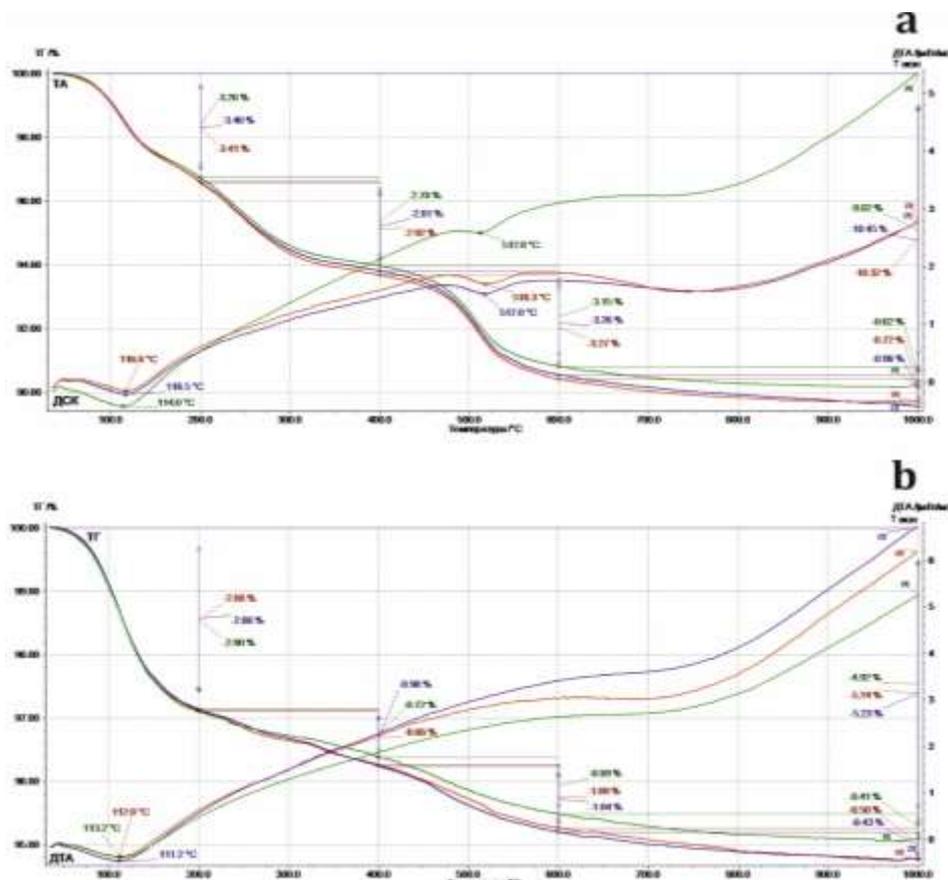


Рис. 4. Репрезентативные термограммы для диатомитов Утесайского (а) и опок Таскалинского (б) месторождений по результатам термогравиметрического анализа

Fig. 4. Representative thermograms for diatomites from the Utesai (a) and opoka from the Taskala (b) deposits according to the results of thermogravimetric analysis

Опоки состоят на 68–75 % из многочисленных микроскопических глобул опала-СТ, чешуек иллита, криптокристаллического кварца, с примесью алевритового материала в количестве 20–25 %. Частицы опала/опала-СТ имеют глобулярное строение, причём более или менее крупные глобулы, хорошо различимые под поляризационным микроскопом, имеют размеры 0,008–0,015 мм (рис. 5, с). Также были обнаружены глобулы опала/опал-кристобалита с необычным кон-

центрически-слоистым строением, размеры таких глобул составляют 0,005–0,017 мм (рис. 5, d). Алевритовый материал представлен кварцем – 19–23 %, полевыми шпатами – 1–2 %, обломками пород (микрокварцитами) – менее 1 %, слюдами (мусковит, биотит) – менее 1 %. Органогенные остатки содержатся в количестве 2–3 % от объёма породы, среди них значительно преобладают диатомовые водоросли (рис. 5, e, f), также содержатся спикулы губок в количестве менее 1 %.

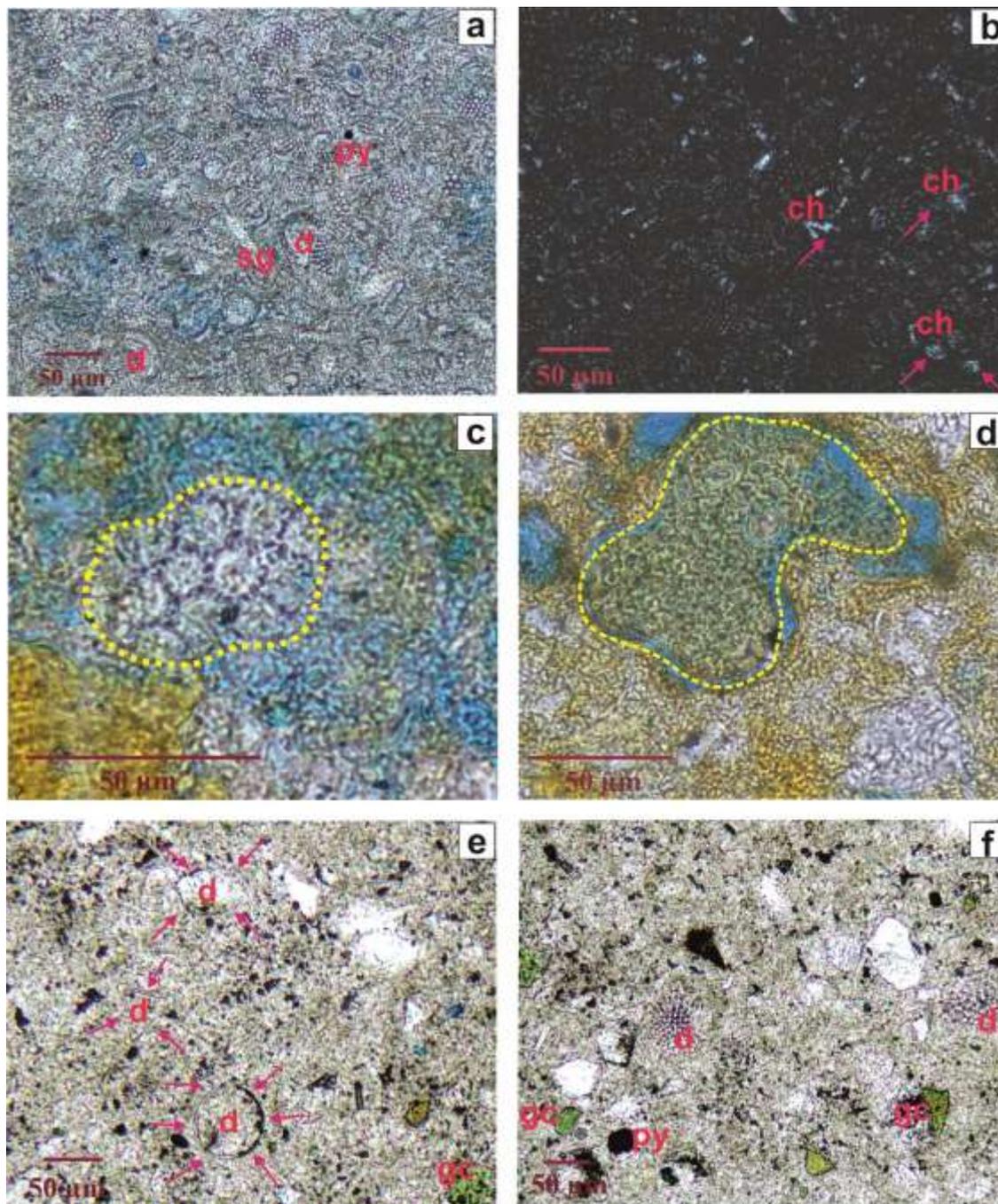


Рис. 5. Микроструктура диатомитов Утесайского месторождения (а, б) и опок Таскалинского месторождения (с–f) по данным литолого-петрографического анализа в шлифах (d – диатомеи, gc – глауконит, py – пирит, ch – халцедон); а, с–f – параллельные николи; б – скрещенные николи

Fig. 5. Microtexture of diatomites from the Utesai deposit (a, b) and opoka from the Taskala deposit (c–f) according to the data of lithologic-petrographic analysis in thin sections (d – diatoms, gc – glauconite, py – pyrite, ch – chalcedony); a, c–f are the parallel nicols; b are the crossed nicols

Часть диатомей частично или полностью замещены микроскопическими леписферами опала/опала-СТ, сохранились лишь только контуры панцирей, которые иногда частично или полностью выполнены пиритом (рис. 5, e). Заметно реже встречаются практически не изменённые панцири диатомовых водорослей, сложенных опалом (рис. 5, f).

Для опок Таскалинского месторождения характерно присутствие в их минеральном составе глаукогнита, содержание которого изменяется в пределах 3–4 % от объёма породы, зёрна округлой и овальной формы, светло-зелёного и желтовато-зелёного цвета, размером от 0,024 до 0,069 мм. Акцессорные минералы – очень мелкие зёрна циркона.

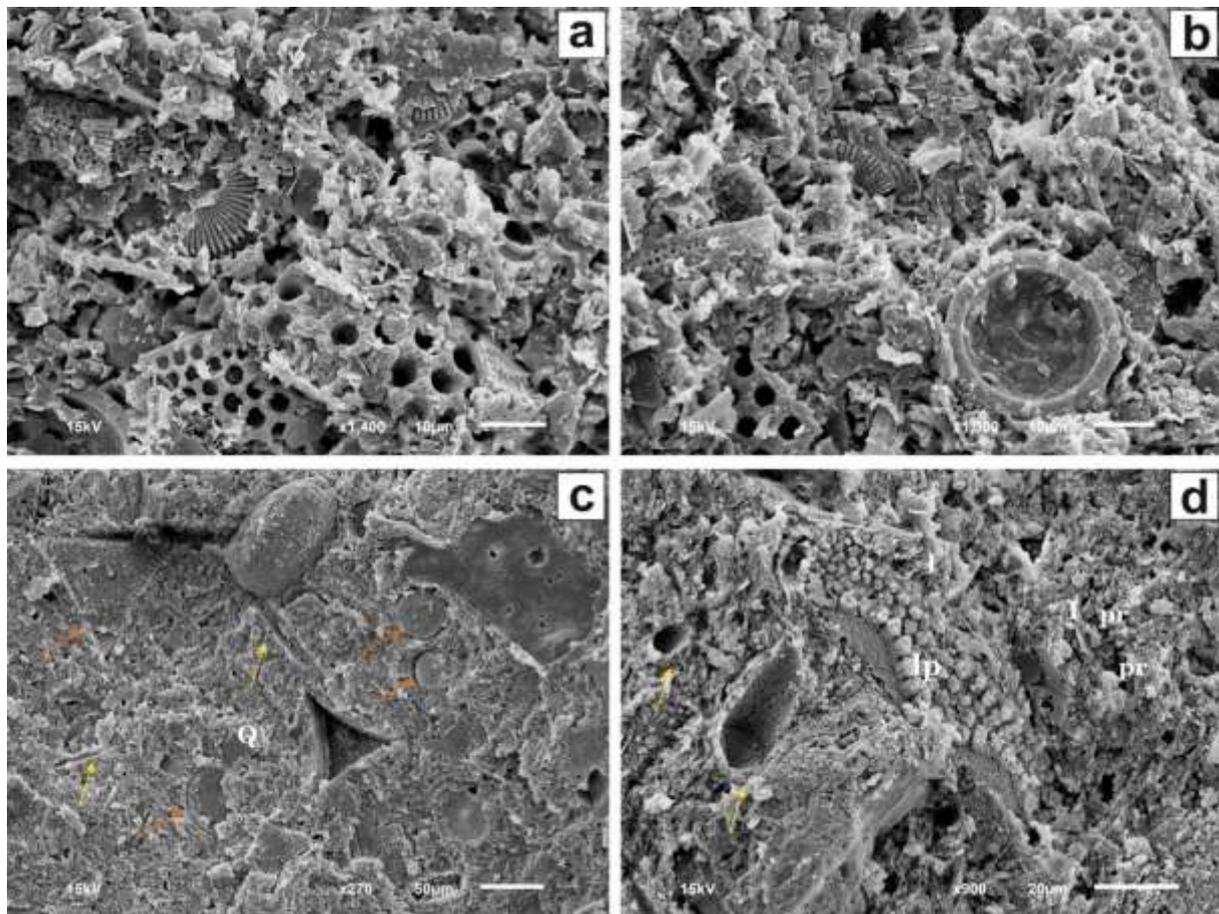


Рис. 6. Микроструктура и минеральные компоненты диатомитов (a, b) и опок (c, d) с – леписферы опал-СТ, образующие каркас опок: желтые стрелки – пустоты, оставшиеся после растворения спикул губки; оранжевые стрелки – реплики глобулярного опал-СТ по диатомовым водорослям; Q – кварц; d) I – иллит, Pr – пирит, lp – опал-СТ в виде леписфер

Fig. 6. Microstructure and mineral components of diatomites (a, b) and opoka (c, d) с – opal-CT lepispheres forming the carcass of the opoka: yellow arrows – voids left after the dissolution of sponge spicules; orange arrows – replicas of globular opal-CT on diatoms; Q – quartz; d) I – illite, Pr – pyrite, lp – opal-CT in the form of lepispheres

При исследованиях с помощью сканирующего электронного микроскопа установлено, что изученные диатомиты обладают органогенной структурой, за счет многочисленных целых и обломков панцирей диатомей (рис. 6, a). Наряду с кремниевыми биокластами хорошо диагностируемыми компонентами являются глинистые минералы, слагающие мелкие чешуйчатые и листоватые агрегаты. Устанавливаются участки концентрированного распределения глинистых минералов, т. н. зоны глинизации, – в них агрегаты глинистых минералов, очевидно, доминируют над биокластикой. Единично встречены сферолиты, размером порядка 10 мкм, предположительно, сложенные криптокристаллическим халцедоном. На его поверхности наблюдаются более мелкие чешуйки ил-

лита/каолинита, а также единичные борозды размером 2,2×0,3 мкм.

Опоки преимущественно обладают обломочно-хлопьевидно-биоморфно-тонкоглобулярной структурой с многочисленными репликами кремнистой биокластики (реликтами, которые повторяют первоначальную форму диатомовых водорослей и спикул губок), полости в которых выполнены леписферами опала-СТ с характерной ребристой оторочкой (рис. 6, c). Хлопьевидные частицы принадлежат глинистым минералам. Такие структуры по наблюдению Е.Ф. Ахлестиной и А.В. Иванова в целом считаются типичными для опок Поволжья и Зауралья [28]. Спикулы губок легко диагностируются по узким и вытянутым пустотам на поверхности породы, реплики от

диатомовых водорослей соответствуют морфологии диатомей (округлые, треугольные, бочонковидные и др.) (рис. 6, с). В опоках спикулы губок численно доминируют над остатками и репликами диатомей. В породах повсеместно прослеживаются кристаллы пирита, формирующиеся гнездообразные скопления в полостях, выполненных глобулярным кремнеземом (рис. 6, d).

Заключение

Ввиду территориальной и генетической близости целесообразно сравнение физико-химических параметров изученных пород и пород с месторождений в Зауралье в Поволжье. С минералогической точки зрения самым очевидным отличием изученных диатомитов от зауральских является существенное содержание каолинита свыше 10 %, в то время как в диатомитах Зауралья главным глинистым компонентом является смектит и смешаннослойные иллит-смектитовые образования. Подобное распределение минералов в глинистой части может указывать на большую генетическую близость с месторождениями Поволжского региона.

С минералогической точки зрения рассматриваемые горные породы являются глинистыми диатомитами и глинистыми опоками, общее содержание основных оксидов позволяет характеризовать сырье как среднего качества. Например, утесайские диатомитовые глины примерно эквиваленты по качеству диатомитовым глинам Шадринского месторождения в Зауралье, спектр использования которых не слишком широк из-за высокого содержания глинистых минералов [3, 8]. Схожие теплофизические процессы свойственны для искусственных микрокремнеземов, полученных из агрегированных частиц аморфного диоксида кремния. Такие материалы подвергаются дегидратации поверхностей и поровых систем различных масштабов при температурах до 300 °С. Структурные перестройки первичных частиц микрокремнеземов и их агрегатов отмечаются в диапазоне 600–1000 °С и выражены в виде эндо- и экзотермических максимумов [29].

При прежних исследованиях рассматриваемых силицитов указывался весьма широкий диапазон использования, в том числе для производства фильтровальных материалов, сорбентов, катализаторов и др. Технологические испытания лабораторных и заводских проб диатомитов Утесайского месторождения, выполненные на ранних этапах геологического изучения территории, указывали на пригодность сырья в качестве активной минеральной добавки (до 5–7 %) при производстве белого и цветных поргладцементов. Диатомит отвечает требованиям государственных стандартов по производству различных строительных материалов, таких как термолит (и на его основе термолитобетоны), кремнеситаллы, керамиче-

ская плитка на основе искусственного волластонита, легковесный силикатный строительный кирпич.

Распределение основных компонентов в составе утесайских диатомитов и таскалинских опок не накладывает ограничений на их использование в качестве исходного сырья для производства строительных и теплоизоляционных материалов, т. к. для технологических процессов варки диатомитового стекла подходят практически любые диатомиты средних и низких качеств, а состояние и чистота пористого и степень деструкции створок диатомовых водорослей не имеет значения.

Отдельно следует отметить, что в стекольную шихту при производстве стеклонити для повышения прочности будущего материала специально вносят немного глинозема. Наличие в изученных диатомитах оксида алюминия, в составе глинистых минералов, и, в частности, в каолините, позволяет получать стекло при меньших температурах, без дополнительного добавления глинозема, одновременно снижая температуру варки, объем подшихтовки и улучшая выработочные свойства. Авторам представляется, что в данном контексте высокие содержания каолинита смогут минимизировать потребность во внесении дополнительных добавок в исходное сырье, что и приоритизирует именно такое направление использования этого кремниевого сырья.

Решение об использовании для нужд производства фильтровальных и сорбирующих материалов требует дальнейших специализированных исследований. Реализация на практике технологий повышения сорбирующих и фильтровальных свойств диатомитов при кальцинировании с флюсом (прокаливании в барабанной печи при температуре выше 900 °С) для использования в фильтровальной промышленности, для фильтрации рафинированного масла, пива предъявляет требования к исходному сырью как в части высокого содержания SiO₂ (для диатомитов – 80–90 %) и малой доли примесей, так и к высокому содержанию цельных неразложившихся панцирей. При микроскопических исследованиях, очевидно, устанавливается существенная степень деструкции, невысокая сохранность диатомовых створок кремнескелетной биоты, что не позволяет уверенно рекомендовать изученные силициты к использованию для производства фильтровальных и сорбирующих материалов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда 22-77-00056. Публикация научной работы по проекту «Жас галым» на 2023–2025 гг. осуществлена за счет средств гранта (№ AP19177448). Источник финансирования: Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан.

Авторы выражают искреннюю благодарность Евгению Короткову за ценные советы и обсуждение результатов статьи на финальном этапе подготовки рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кремнистые породы СССР / под ред. У.Г. Дистанова. – Казань: Татарское книжное изд-во, 1976. – 412 с.
2. Юриш В.В. Кизельгур – незаслуженно забытое сырье // Геология и охрана недр. – 2014. – № 3 (52). – С. 41–47.

3. Types, features, and resource potential of Palaeocene–Eocene siliceous rock deposits of the West Siberian Province: a review / I.I. Nesterov, P.V. Smirnov, A.O. Konstantinov, H.-J. Gursky // International Geology Review. – 2021. – V. 63. – 504–525. URL: <https://doi.org/10.1080/00206814.2020.1719370> (дата обращения 15.01.2023).

4. Stamatakis M., Stamatakis G. The use of diatomaceous rocks of Greek origin as absorbents of olive-oil wasters // Bulletin of the Geological Society of Greece. – 2010. – V. 43. – № 5. – P. 2739–2751. URL: <https://doi.org/10.12681/bgsg.11680> (дата обращения 15.01.2023).
5. The processing and utilization of China diatomite resource and its development trend / S. Zheng, Z. Sun, Z. Hu, G. Zhang // Earth Science Frontiers. – 2014. – V. 21. – № 5. – P. 247–280. URL: <https://doi.org/10.13745/j.esf.2014.05.022> (дата обращения 15.01.2023).
6. Comparative characterization study of diatomites from different Brazilian locations and their application in dye adsorption / S.H. da Silva Filho, P. Vinaches, H.L.G. Silva, J. Villarroel-Rocha, K. Sapag, S.B.C. Pergher // SN Applied Sciences. – 2019. – V. 1. – Article 1471. URL: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1541-x> (дата обращения 15.01.2023).
7. Diatomaceous Earth: characterization, thermal modification, and application / A.A. Reka, B. Pavlovski, E. Fazlija, A. Berisha, M. Pacarizi, M. Daghmehchi, C. Sacalis, G. Jovanovski, P. Makreski, A. Oral // Open Chemistry. – 2021. – V. 19. – № 1. – P. 451–461. URL: <https://doi.org/10.1515/chem-2020-0049> (дата обращения 15.01.2023).
8. Smirnov P.V., Konstantinov A.O., Gursky H.J. Petrology and industrial application of main diatomite deposits in the Transaural region (Russian Federation) // Environmental Earth Sciences. – 2017. – 76. – Article number: 682. URL: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7037-3> (дата обращения 15.01.2023).
9. Курилова С.Н., Котляр В.Д. Безобжиговые стеновые изделия компрессионного формования на основе опок // Евразийский Союз Ученых. – 2015. – № 4 (13). – С. 116–118.
10. Исследование возможности использования кремнистой породы – опоки Западного Казахстана для получения эффективной стеновой керамики / С.А. Монтаев, С.М. Жарылгапов, А.А. Таудаева, Б.О. Есмухан // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: Сб. статей. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2019. – С. 84–90.
11. An investigation of the effects of additives and burning temperature on the properties of products based on loam / R.E. Nurlybayev, M.T. Zhuginissov, Z.O. Zhumadilova, A.A. Joldassov, Y.S. Orynbekov, A.A. Murzagulova // Applied Sciences. – 2022. – 12 (7). URL: <https://doi.org/10.3390/app12073352> (дата обращения 15.01.2023).
12. Свойства и опыт применения диоксида кремния, синтезированного из диатомита / В.П. Селяев, А.К. Осипов, П.В. Селяев, О.В. Лияскин, Е.Л. Кечуткина // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии». – 2020. – № 2 (14). – С. 7–19.
13. Prospects of creating the technology of composite adsorbent for water purification based on the composition of siliceous and clay rocks of Kazakhstan / S.A. Montayev, A.S. Montayeva, N.B. Adilova, A.B. Shinguzhiyeva, N.S. Montayeva, A.T. Taskaliyev // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2018. – V. 9. – I. 1. – P. 805–813.
14. Исследования аморфно-кремнеземистых горных пород Республики Казахстан в качестве минерального сырья в формировании пористой структуры теплоизоляционного пеностекла / Б.Е. Жакипбаев, А.С. Колесников, Г.С. Кенжибаева, Н.Е. Ботабаев, А.Н. Кутжанова, Х.А. Аширбаев, Э.К. Ахметова, О.Г. Колесникова // Новые огнеупоры. – 2020. – № 2. – С. 5–9. URL: <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2020-2-5-9> (дата обращения 15.01.2023).
15. An experimental study of the possible use of opoka as a Si source in glass production of the Turkestan region, Kazakhstan / V.Ye. Zhakipbayev, Ya.O. Alferyeva, D.A. Ksenofontov, A.R. Kotel'nikov // Moscow University Geology Bulletin. – 2021. – V. 76. – № 4. – P. 398–406. URL: <https://doi.org/10.3103/S0145875221040128> (дата обращения 15.01.2023).
16. Zhakipbayev B.E., Spiridonov Yu.A., Sigaev V.N. Use of rocks to obtain foam glass // Glass and Ceramics. – 2013. – V. 70. – № 3–4. – P. 155–157. URL: <https://doi.org/10.1007/s10717-013-9530-9> (дата обращения 15.01.2023).
17. Использование опоки Таскалинского месторождения Западно-Казахстанской области для очистки поверхностных вод / С.С. Сатаева, А.К. Абдыгалиева, Ж.Т. Ержанова, М.Б. Мамбетова, Б.Т. Салим // Современные научно-исследовательские решения в условиях технологических и цифровых новаций: материалы XLI Всероссийской научно-практической конференции. Ч. I. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного университета ИУБиП, 2021. – С. 122–126.
18. Дистанов У.Г., Кузнецова Т.А. Прогнозная оценка территории СССР на кремнистое сырье. Обзор. Серия 4 – Геология, методы поисков и разведки месторождений неметаллических полезных ископаемых. – М.: ВИЭМС, 1974. – 32 с.
19. Нестеров И.И., Генералов П.П., Подсосова Л.Л. Западно-Сибирская провинция кремнисто-опаловых пород // Советская геология. – 1984. – № 3. – С. 35–40.
20. Яншин А.Л. Геология Северного Приаралья. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – 734 с.
21. Сейсмостратиграфический анализ палеогеновых отложений северного Приаралья и северо-восточного Устюрта / М.П. Антипов, В.А. Быкадоров, Ю.А. Волож, А.Е. Шлезингер // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 10. – С. 1388–1397.
22. Орешкина Т.В., Яковлева А.И., Щербинина Е.А. Комплексный микропалеонтологический анализ эоценовых отложений восточного Прикаспия (скв. 57, Шубарсайская мулда, Казахстан) // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2015. – Т. 90. – Вып. 1. – С. 42–80.
23. Железко В.И. История формирования палеогеновых осадков в Западно-Сибирском бассейне // Ежегодник-97. – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 1998. – С. 6–8.
24. Сегедин Р.А. К стратиграфии палеогеновых отложений Примугоджарья и Северо-Западной части Казахского Урала // Платформенные образования Урала. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1972. – С. 29–50.
25. Месторождения горнорудного сырья Казахстана. Справочник / В.В. Кулинич, А.А. Антоненко, А.В. Потеха, С.Я. Баякунова, Т.В. Гойколова. – Алматы: Министерство экологии и природных ресурсов РК, 2000. – Т. 3. – 233 с.
26. Новые свиты палеоцена и эоцена Прикаспийской впадины / В.Н. Беньямовский, Р.А. Сегедин, Т.Р. Акопов, А.М. Сыроватко, А.А. Ромашов // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 1990. – Т. 65. – Вып. 5. – С. 68–75.
27. Summary of recommendations of nomenclature committees relevant to clay mineralogy: report of the Association International pour l'Etude des Argiles (AIPEA) Nomenclature Committee for 2006 (Clays and Clay Minerals) / S. Guggenheim, J.M. Adams, D.C. Bain, F. Bergaya, M.F. Brigatti, V.A. Drits, M.L.L. Formoso, E. Galan, T. Kogure, H. Stanjek // Clays and Clay Minerals. – 2007. – V. 55. – № 6. – С. 761–772. URL: <https://doi.org/10.1346/CCMN.2006.0540610> (дата обращения 15.01.2023).
28. Ахлестина Е.Ф., Иванов А.В. Атлас кремнистых пород мела и палеогена Поволжья. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2000. – 166 с.
29. Теплоизоляционные свойства материалов на основе тонкодисперсных минеральных порошков / В.П. Селяев, А.К. Осипов, В.А. Неверов, Л.И. Куприяшкина, О.Г. Маштаев, В.В. Сидоров // Строительные материалы. – 2013. – № 1. – С. 61–64.

Поступила: 21.01.2023 г.

Прошла рецензирование: 27.01.2023 г.

Информация об авторах

Смирнов П.В., кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Тюменского научного центра СО РАН.

Жакипбаев Б.Е., доктор PhD, ассоциированный профессор, постдокторант, главный научный сотрудник Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова.

Староселец Д.А., лаборант-исследователь лаборатории седиментологии и эволюции палеобиосферы Тюменского государственного университета.

Дерягина О.И., научный сотрудник лаборатории седиментологии и эволюции палеобиосферы Тюменского государственного университета.

Баталин Г.А., научный сотрудник лаборатории геохимии, изотопного и элементного анализа Казанского федерального университета.

Гареев Б.И., научный сотрудник лаборатории геохимии, изотопного и элементного анализа Казанского федерального университета.

Вергунов А.В., кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии и эволюции палеобиосферы Тюменского государственного университета.

UDC 553.578; 553.575

DIATOMITES AND OPOKA FROM WESTERN KAZAKHSTAN DEPOSITS: LITHOGEOCHEMISTRY, STRUCTURAL AND TEXTURAL PARAMETERS, POTENTIAL OF USE

Pavel V. Smirnov¹,
geolog.08@mail.ru

Bibol Ye. Zhakipbayev²,
bibol.ye.zhakipbayev@mail.ru

Dmitriy A. Staroselets³,
d_star1997@mail.ru

Oksana I. Deryagina³,
deriaginaoksanzsgc@yandex.ru

Georgii A. Batalin⁴,
g@batalin.com

Bulat I. Gareev⁴,
bulat@gareev.net

Alexey V. Vergunov³,
alexeivergunov@rambler.ru

¹ Tyumen Scientific Center of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
86, Malygin street, Tyumen, 625000, Russia.

² M. Auezov South Kazakhstan University,
5, Tauke Khan avenue, Shymkent, 160012, Kazakhstan.

³ University of Tyumen,
6, Volodarsky street, Tyumen, 625003, Russia.

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

The relevance. In recent decades, individual studies in the Republic of Kazakhstan have been aimed at expanding the potential of using rocks of large and industrial exploitation of silicite deposits for revising their physicochemical, mineralogical parameters, and assessing the prospects for expanding their use in new industries and technologies in the construction and technical industries, materials science based on deep chemical processing of mineral raw materials. The article presents new data on the chemical-mineralogical and structural parameters of diatomites from the Utesai deposit and opoka from the Taskala deposit of the Republic of Kazakhstan

The main aim: comprehensive analysis of the chemical-mineral composition and structural and textural features of rocks from two largest deposits of silicon raw materials in the Western part of Kazakhstan – the Utesai diatomite deposit and the Taskala opoka deposit.

Objects: diatomites of the Utesai deposit and opoka of the Taskala deposits in the western part of the Republic of Kazakhstan.

Methods: field research, lithological and petrographic analysis of thin sections, X-ray diffraction analysis, differential thermal analysis, scanning electron microscopy, X-ray fluorescence analysis.

Results. The studied diatomites and opoka are characterized by a high degree of homogeneity; they are represented by typical phases for silicic rocks of the region – opal-CT, clay minerals with an admixture of quartz and feldspars. From the mineralogical point of view, the most obvious difference between the studied diatomites and the Trans-Urals is the significant content of kaolinite – over 10 %, while in the diatomites of the Trans-Urals, the main clay component is smectite and mixed-layer illite-smectite formations. The rocks under consideration are clayey diatomites and clayey flasks, the total content of basic oxides allows us to characterize raw materials as medium quality, most suitable for the production of foam glass materials, and, in particular, glass fiber, in the production of which alumina is an important functional component. At the same time, the significant content of clay and other impurities does not allow us to recommend such raw materials for the production of filter and sorbing materials.

Key words:

diatomite, opoka, raw material, silicite, industrial minerals, Kazakhstan.

The research was carried out under the support of the grant of the Russian Science Foundation 22-77-00056. The authors express their sincere gratitude to Evgeniy Korotkov for valuable advice and discussion of the results of the article at the final stage of manuscript processing. The publication of scientific work on the project «Zhas Galym» for 2023–2025 was carried out at the expense of a grant (no. AP19177448). Funding source: Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

REFERENCES

1. Distanov U.G. *Kremnistye porody SSSR* [Siliceous rocks of USSR]. Kazan, Tatarskoe knizhnoe izdatelstvo, 1976. 412 p.
2. Yurish V.V. Kizelgur – nezasluzhenno zabytoye syrye [Kieselguhr – an undeservedly forgotten raw material]. *Geologiya i okhrana nedr*, 2014, no. 3 (52), pp. 41–47.
3. Nesterov I.I., Smirnov P.V., Konstantinov A.O., Gursky H-J. Types, features, and resource potential of Palaeocene–Eocene siliceous rock deposits of the West Siberian Province: a review. *International Geology Review*, 2021, vol. 63, pp. 504–525. Available at: <https://doi.org/10.1080/00206814.2020.1719370> (accessed 15 January 2023).
4. Stamatakis M., Stamatakis G. The use of diatomaceous rocks of Greek origin as absorbents of olive-oil wasters. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 2010, vol. 43, no. 5, pp. 2739–2751. Available at: <https://doi.org/10.12681/bgsg.11680> (accessed 15 January 2023).
5. Zheng S., Sun Z., Hu Z., Zhang G. The processing and utilization of China diatomite resource and its development trend. *Earth Science Frontiers*, 2014, vol. 21, no. 5, pp. 247–280. In Chinese.

- Available at: <https://doi.org/10.13745/j.esf.2014.05.022> (accessed 15 January 2023).
6. Da Silva Filho S.H., Vinaches P., Silva H.L.G., Villarroel-Rocha J., Sapag K., Pergher S.B.C. Comparative characterization study of diatomites from different Brazilian locations and their application in dye adsorption. *SN Applied Sciences*, 2019, vol. 1, article 1471. Available at: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1541-x> (accessed 15 January 2023).
 7. Reka A.A., Pavlovski B., Fazlija E., Berisha A., Pacarizi M., Daghmehchi M., Sacalis C., Jovanovski G., Makreski P., Oral A. Diatomaceous Earth: characterization, thermal modification, and application. *Open Chemistry*, 2021, vol. 19, no. 1, pp. 451–461. Available at: <https://doi.org/10.1515/chem-2020-0049> (accessed 15 January 2023).
 8. Smirnov P.V., Konstantinov A.O., Gursky H.J. Petrology and industrial application of main diatomite deposits in the Transuralian region (Russian Federation). *Environmental Earth Sciences*, 2017, vol. 76, article number: 682 Available at: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7037-3> (accessed 15 January 2023).
 9. Kurilova S.N., Kotlyar V.D. Bezobzhigovye stenovye izdeliya kompressionnogo formovaniya na osnove opok [Fireless wall products of compression molding based on flasks]. *Evrasiyskiy Soyuz Uchenykh*, 2015, no. 4 (13), pp. 116–118.
 10. Montaev S.A., Zharylgapov S.M., Taudaeva A.A., Esmukhan B.O. Issledovanie vozmozhnosti ispolzovaniya kremnistoy porody – opoki Zapadnogo Kazakhstana dlya polucheniya effektivnoy stenovoy keramiki [Study of the possibility of using siliceous rock – flasks of Western Kazakhstan to obtain effective wall ceramics]. *Traditsii i innovatsii v stroitelstve i arkhitekture. Stroitelnye tekhnologii* [Traditions and innovations in construction and architecture. Construction technologies]. Samara, Samara State Technical University Publ., 2019, pp. 84–90.
 11. Nurlybayev R.E., Zhuginisov M.T., Zhumadilova Z.O., Joldassov A.A., Orynbekov Y.S., Murzagulova A.A. An investigation of the effects of additives and burning temperature on the properties of products based on loam. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12 (7), 3352. Available at: <https://doi.org/10.3390/app12073352> (accessed 15 January 2023).
 12. Selyaev V.P., Osipov A.K., Selyaev P.V., Liyaskin O.V., Kechutkin E.L. Properties and application of silicon dioxide synthesized from diatomite. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series «Materials. Constructions. Technologies»*, 2020, no. 2 (14), pp. 7–19. In Rus. Available at: <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2020.2.7> (accessed 15 January 2023).
 13. Montayev S.A., Montayeva A.S., Adilova N.B., Shinguzhiyeva A.B., Montayeva N.S., Taskaliyev A.T. Prospects of creating the technology of composite adsorbent for water purification based on the composition of siliceous and clay rocks of Kazakhstan. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2018, vol. 9, Iss. 1, pp. 805–813.
 14. Zhakipbaev B.E., Kolesnikov A.S., Kenzhibaeva G.S., Botabaev N.E., Kutzhanova A.N., Ashirbaev H.A., Akhmetova E.K., Kolesnikova O.G. Issledovaniya amorfno-kremnezemistykh gornykh porod Respubliki Kazakhstan v kachestve mineralnogo syrva v formirovani poristoy struktury teploizolyatsionnogo penostekla [Studies of amorphous-siliceous rocks of the Republic of Kazakhstan as mineral raw materials in the formation of the porous structure of heat-insulating foam glass]. *Novye ognepory*, 2020, no. 2, pp. 5–9. Available at: <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2020-2-5-9> (accessed 15 January 2023).
 15. Zhakipbayev B.Ye., Alferyeva Ya.O., Ksenofontov D.A., Kotelnikov A.R. An experimental study of the possible use of opoka as a Si source in glass production of the Turkestan region, Kazakhstan. *Moscow University Geology Bulletin*, 2021, vol. 76, no. 4, pp. 398–406. Available at: <https://doi.org/10.3103/S0145875221040128> (accessed 15 January 2023).
 16. Zhakipbaev B.E., Spiridonov Yu.A., Sigaev V.N. Use of rocks to obtain foam glass. *Glass and Ceramics*, 2013, vol. 70, no. 3–4, pp. 155–157. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10717-013-9530-9> (accessed 15 January 2023).
 17. Sataeva S.S., Abydgalieva A.K., Erzhanova Zh.T., Mambetova M.B., Salim B.T. Ispolzovanie opoki Taskalinskogo mestorozhdeniya Zapadno-Kazhastanskoy oblasti dlya ochistki poverkhnostnykh vod [The use of the flask of the Taskalinsky deposit of the West Kazakhstan region for the treatment of surface water]. *Sovremennye nauchno-issledovatel'skie resheniya v usloviyakh tekhnologicheskikh i tsifrovyykh novatsiy. Materialy XLI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern research solutions in the context of technological and digital innovations. Proceedings of the XLI All-Russian Scientific and Practical Conference]. Rostov-on-Don, Southern University of IUBiP Publ. house, 2021, pp. 122–126.
 18. Distanov U.G., Kuznetsova T.A. *Prognoznaya otsenka territorii SSSR na kremnistoe syrve. Obzor* [Forecast assessment of the territory of the USSR for siliceous raw materials. Review]. Moscow, VIEMS Publ., 1974. 32 p.
 19. Nesterov I.I., Generalov P.P., Podsosova L.L. Zapadno-Sibirskaya provintsiya kremnisto-opalovykh porod [West Siberian province of siliceous-opal rocks]. *Sovetskaya geologiya*, 1984, no. 3, pp. 35–40.
 20. Yanshin A.L. *Geologiya Severnogo Priaralya* [Geology of the Northern Aral Sea]. Moscow, Academy of Sciences of USSR Publ., 1953. 734 p.
 21. Antipov M.P., Bykadorov V.A., Volozh Yu.A., Shlezinger A.E. Seysmostratigraficheskiy analiz paleogenovykh otlozheniy severnogo Priaralya i severo-vostochnogo Ustyurta [Seismostratigraphic analysis of Paleogene deposits in the northern Aral Sea region and northeastern Ustyurt]. *Geologiya i geofizika*, 2011, vol. 52, no. 10, pp. 1388–1397.
 22. Oreshkina T.V., Yakovleva A.I., Shcherbinina E.A. Kompleksny mikropaleontologicheskiy analiz eotsenovykh otlozheniy vostochnogo Prikaspiya (skv. 57, Shubarsayskaya mulda, Kazakhstan) [Comprehensive micropaleontological analysis of the Eocene deposits of the eastern Caspian region (borehole 57, Shubarsai trough, Kazakhstan)]. *Byulleten MOIP. Otdel geologicheskoy*, 2015, vol. 90, no. 1, pp. 42–80.
 23. Zhelezko V.I. Istoriya formirovaniya paleogenovykh osadkov v Zapadno-Sibirskom bassejne [History of the formation of paleogene sediments in the West Siberian basin]. *Yezhegodnik-97*. Ekaterinburg, Institute of Geology and geochemistry UB RAS Publ., 1998, pp. 6–8.
 24. Segedin R.A. K stratigrafii paleogenovykh otlozheniy Primugodzharya i Severo-Zapadnoy chasti Kazakhskogo Urala [To the stratigraphy of the Paleogene deposits of the Primugodzharye and the North-Western part of the Kazakh Urals]. *Platformennye obrazovaniya Urala* [Platform formations of the Urals]. Sverdlovsk, Ural Scientific Center of Academy of Sciences of USSR Publ., 1972, pp. 29–50.
 25. Kulinich V.V., Antonenko A.A., Potekha A.V., Bayakunova S.Ya., Goykoleva T.V. *Mestorozhdeniya gornorudnogo syrva Kazakhstana. Spravochnik* [Deposits of mining raw materials in Kazakhstan. Directory]. Almaty, Ministerstvo ekologii i prirodnykh resursov RK Publ., 2000. Vol. 3, 233 p.
 26. Benyamovskiy V.N., Segedin R.A., Akopov T.R., Syrovatko A.M., Romashov A.A. Novye svity paleotsena i eotsena Prikaspiyskoy vpadiny [New formations of the Paleocene and Eocene of the Caspian Depression]. *Byulleten MOIP. Otdel geologicheskoy*, 1990, vol. 65, Iss. 5, pp. 68–75.
 27. Guggenheim S., Adams J.M., Bain D.C., Bergaya F., Brigatti M.F., Drits V.A., Formoso M.L.L., Galan E., Kogure T., Stanjek H. Summary of recommendations of nomenclature committees relevant to clay mineralogy: report of the Association International pour l'Etude des Argiles (AIPEA) Nomenclature Committee for 2006 (Clays and Clay Minerals). *Clays and Clay Minerals*, 2007, vol. 55, no. 6, pp. 761–772. Available at: <https://doi.org/10.1346/CCMN.2006.0540610> (accessed 15 January 2023).
 28. Akhlestina E.F., Ivanov A.V. *Atlas kremnistykh porod mela i paleogena Povolzhya* [Atlas of siliceous rocks of the Cretaceous and Paleogene of the Volga region]. Saratov, State University Center «College» Publ. House, 2000. 166 p.
 29. Selyaev V.P., Osipov A.K., Neverov V.A., Kupriyashkina L.I., Mashtaev O.G., Sidorov V.V. Teploizolyatsionnye svoystva materialov na osnove tonkodispersnykh mineralnykh poroshkov [Insulating properties of materials on the basis of fine mineral powders]. *Stroitelnye materialy*, 2013, no. 1, pp. 61–64.

Received: 21 January 2023.
Reviewed: 27 January 2023.

Information about the authors

Pavel V. Smirnov, Cand. Sc., head of Laboratory of Sedimentology and Paleobiosphere Evolution, University of Tyumen.

Bibol Ye. Zhakipbayev, PhD Dr., associate professor, postdoctoral fellow, chief researcher, M. Auezov South Kazakhstan University.

Dmitriy A. Staroselets, postgraduate student, researcher, University of Tyumen.

Oksana I. Deryagina, scientific researcher, University of Tyumen.

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

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

Alexey V. Vergunov, Cand. Sc., chief researcher, University of Tyumen.