



# МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИАТОМИТОВ РАЗРЕЗА «БЕЛАЯ ГОРКА» (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

К. А. Файзиева

Тюменский индустриальный университет, Тюмень

kamila.fayzieva@yandex.ru

В работе представлены результаты микроскопических исследований диатомитов крупного естественного обнажения «Белая Горка», которое в силу своих колоссальных размеров рассматривается как перспективный объект минеральной базы опал-кристобалитовых пород в Зауралье. Диатомиты разреза «Белая Горка» обладают четко выраженной биоморфной структурой и хорошей сохранностью кремнистых фоссилий. Наблюдается огромное число неповрежденных, неизмененных створок и чистое от глинистых минералов и новообразований кремнезема поровое пространство, что позволяет отнести исследованные диатомиты к числу высококачественного сырья.

**Ключевые слова:** опал-кристобалитовые породы, кремнистые породы, Зауралье, диатомиты, микростроение.

## MICROSCOPIC STUDIES OF DIATOMITE FROM BELAYA GORKA OUTCROP (SVERDLOVSK REGION)

K. A. Faizieva

Industrial University of Tyumen, Tyumen

The paper presents the results of microscopic studies of diatomite from a large natural outcrop — «Belaya Gorka», which due to its colossal dimensions is considered as a promising object of the mineral base of opal-cristobalite rocks in the Trans-Ural region. The diatomite from the Belaya Gorka has a clearly expressed biomorphic structure and well-preserved siliceous fossils. There are a huge number of undamaged and unchanged shells and porous shell space which do not contain clay minerals and neocrystallization of silica, and it allows classifying the studied diatomite as a high-quality raw material.

**Keywords:** opal-cristobalite rocks, siliceous rocks, Trans-Ural, diatomite, microstructure.

### Введение

Диатомиты, широко представленные в Зауралье [1, 3] и на протяжении десятков лет являющиеся здесь объектами промышленной эксплуатации, в последние годы вновь оказались в фокусе научных исследований, что обусловлено огромными перспективами их использования. Для диатомитов, как и для любого другого вида полезных ископаемых, первоочередное значение имеет вещественный состав, изучение которого для пород Зауралья выполнено достаточно детально [2, 4–6]. Вместе с тем справедливым будет утверждать, что обширностью сферы применения диатомиты обязаны не столько кремнистому составу, сколько своей микроструктуре.

Каждая из изученных на данный момент тысяч видов диатомовых водорослей имеет свою собственную форму и размер, варьирующийся в диапазоне от 2 мкм до 2 мм [14], обладает сложной внешней оболочкой из частиц кремнезема. С конца 1980-х гг. для определения новых сфер применения диатомитов главных промышленно значимых месторождений мира (в США, Китае, Дании и др.) выполнялись детальные микроскопические исследования, анализы таксономического состава диатомей, выявление породообразующих видов и основных морфометрических параметров их створок. Для российской науки по времени этот период совпал с известными сложностями 1990-х, в результате чего эти исследования выполняются лишь сейчас. По причине уникальной трехмерной структуры диатомовые створки сейчас всесторонне исследуются на предмет определения возможных направлений использования [7, 9–12]. К абсолютно новым областям можно отнести проектирование композиционных материалов, светокопирование, фотонику, молекулярную сепарацию и биосенсорику. Ряд исследований также посвящен изучению физико-химических характеристик отдельных частей створок в рамках совершенствования технологий глубокой химической переработки минерального сырья [13].

Для российской промышленности характерна низкая степень передела диатомового сырья [3], а перспективы развития новых перерабатывающих производств, с одной стороны, связаны с разработкой инновационных технологий, с другой — с внедрением новых подходов к исследованию состава и структуры биокремнистых пород. При комплексном подходе анализа механизмов формирования структуры и технологических свойств диатомитов детальные микроскопические исследования призваны оценить возможность расширения потенциальных сфер использования.

Для изучения в рамках настоящей работы выбраны диатомиты комплекса *Coscinodiscus payeri* (Grunow), слагающих обнажение «Белая Горка», значительная протяженность которого стала причиной рассматривать его в качестве одного из наиболее перспективных объектов минерально-сырьевой базы опал-кристобалитовых пород в Зауралье [2], хотя детальная разведка и исследования обнажения никогда не выполнялись [3]. С позиции новейших направлений использования данный комплекс диатомовых водорослей рассмотрен в современной литературе недостаточно, так как большинство промышленно значимых месторождений в мире имеют более молодой возраст и, соответственно, содержат иные доминирующие индексы-виды. Однако этот же эоценовый комплекс характерен для диатомитов длительное время находящегося в эксплуатации и хорошо изученного Ирбитского месторождения [4], что должно приниматься во внимание при планировании практического использования пород.

### Объекты и методы

Обнажение «Белая Горка» расположено в окрестностях деревень Речкаловка и Симанова Ирбитского района Свердловской области на правом берегу р. Ирбит ( $57^{\circ}36'34.62"N$   $62^{\circ}47'59.40"E$ ) (рис. 1). Точные сведения о времени и авторстве открытия обнажения отсутствуют,



это обусловлено тем, что этот природный объект расположен в непосредственной близости от населенных пунктов и был известен местным жителям еще до начала его геологического изучения.

Обнажение представляет собой крупный коренной выход пластообразной формы протяженностью более 200 м. Высота от уреза воды в отдельных частях достигает 20–25 м. Продуктивная толща соответствует отложениям ирбитской свиты раннего эоцена и перекрыта маломощным (первые десятки см) почвенно-растительным слоем. Каменный материал для исследований отобран в 2016 г. специалистами НОЦ «Геология нефти и газа» Тюменского индустриального университета с зачищенных стенок обнажения разных точках и предоставлен автору для лабораторных исследований. Аналитические работы включали литолого-петрографический анализ и сканирующую электронную микроскопию. Работы выполнены в Тюменском индустриальном университете и ООО «Западно-Сибирский геологический центр» (г. Тюмень). Электронная микроскопия выполнена на аппаратно-программном комплексе на базе растрового электронного микроскопа JEOL JSM 6510A. Литолого-петрографическое описание проводилось в шлифах, подготовленных по стандартной методике.

## Результаты и обсуждение

Макроскопически изученные диатомиты светло-серого цвета с желтоватым оттенком, слабосцементированные. Диатомит состоит из многочисленных фрагментов и целых створок диатомовых водорослей, сложенных

преимущественно опалом. Присутствует незначительная примесь алевритового материала размером 0.01–0.09 мм, состоящего из обломков кварца, хлоритовых и гидрослюдистых минералов. Структура породы биоморфная, тонкозернистая, пелитоморфная, текстура — микрослоистая, микролинзовидная, слабобиотурбированная. Повсеместно фиксируется нарушение горизонтальной текстуры и неравномерное распределение терригенного материала. В породе встречаются редкие спикулы кремниевых губок.

Комплекс диатомовых хорошо выдержан и, по всей видимости, может быть охарактеризован как *Coscinodiscus payeri* (Grunow) раннего эоцена [8]. Широко представлены диатомеи с створками округлой, нередко изометричной формы. Наиболее четко фиксируются центрические диатомовые роды *Triceratium* и *Pyxidicula* (рис. 2). В меньшей степени в породе представлены *Trinacria* и аналогичные им диатомовые общей треугольной формы *Pseudotriceratium*. Размеры варьируются от 20 до 70 мкм. Для всех кремнистых фоссилий характерна хорошая сохранность и чистое от глинистых минералов и новообразований кремнезема поровое пространство створок.

При литолого-петрографическом анализе диатомовые размером от 0.02 до 0.17 мм, хорошо видимые даже при увеличении 10 крат (но лучше всего просматриваются при 40), составляют до 60 % от общей площади шлифа (рис. 3). Поры мельчайшие, внутриструктурные, размером 0.05–0.5 мм, составляют около 5 % от площади шлифа. Кроме того, пористость формируется за счет межзернового пространства, однако их вклад в общий объем несравнимо меньше.

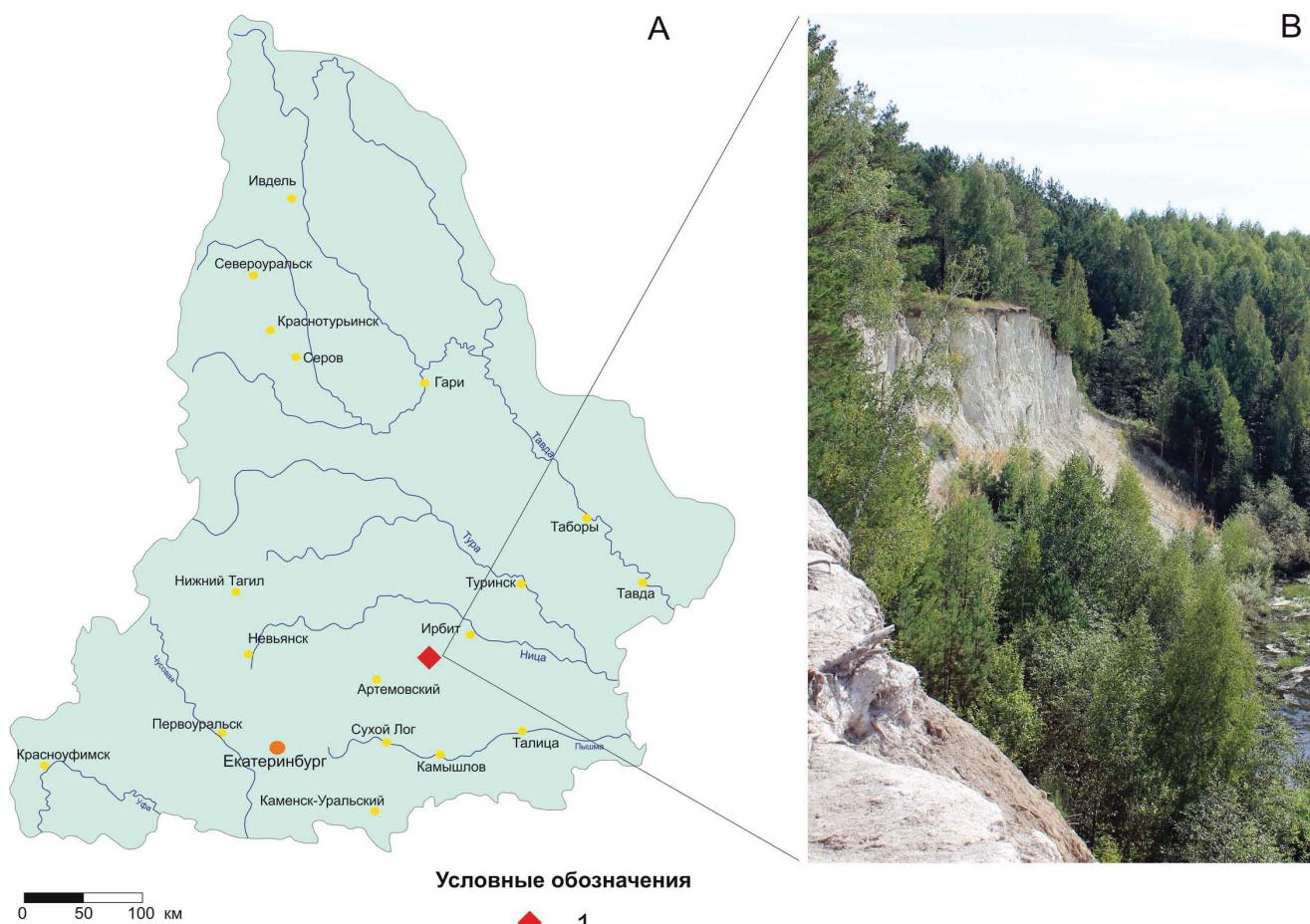


Рис. 1. Карта фактического материала: А — расположение участка исследований, В — общий вид обнажения; 1 — обнажение «Белая Горка»

Fig. 1. The map of factual material: A — research plot location, B — outcrop main view; 1 — Belya Gorka outcrop

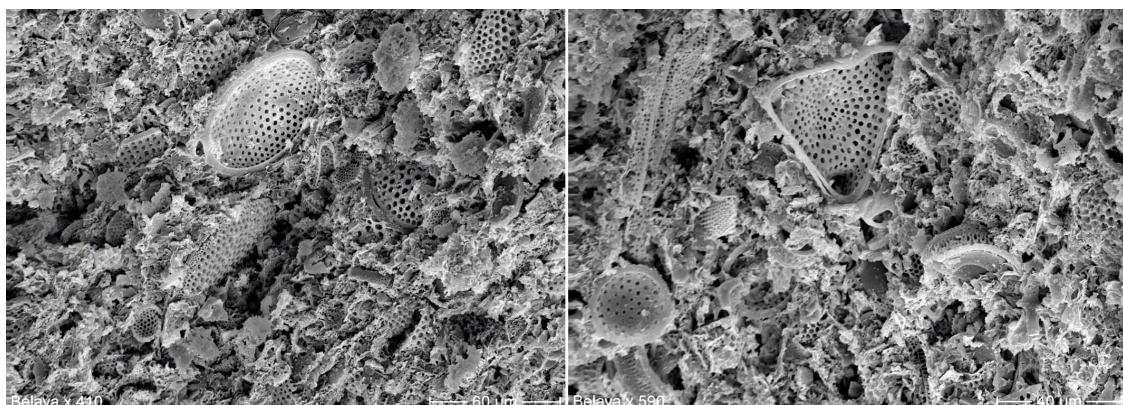


Рис. 2. Микроскопическое строение диатомитов родов *Pyxidicula* (слева) и *Triceratium* (справа)

Fig. 2. Microscopic structure of the diatomite of the genera *Pyxidicula* (left) and *Triceratium* (right)

Терригенный материал представлен угловатыми, полуокатанными, изометричными и удлиненными зернами кварца и калиевого полевого шпата. Обломки кварца, в отдельных образцах составляющие до 12 %, расположены в породе неравномерно, скоплениями или полосами, с которыми ассоциируют полевые шпаты и микрокварциты. В основной массе кварц имеет размер 0.01–0.02 мм, в скоплениях размер обломков 0.01–0.125 мм. Поверхность кварцевых зерен слабодеформированная. На отдельных зернах наблюдаются регенерационные каемки. Наблюдаемые единичные зерна полевого шпата пелитизированы. Цемент обычно имеет микроглобулярное строение иложен кроме глинистых минералов еще и аморфным кремнеземом. Последний сформировался, по всей видимости, из перетертых мелких фрагментов створок диатомовых, которые в силу сво-

их размеров обыкновенно первые подвергаются постседиментационным изменениям. Содержание глинистых минералов в цементе невелико. Они представлены гидрослюдами, в меньшей степени хлоритом и каолинитом. Минеральный состав обломочной фракции не отличается от состава ранее изученных диатомитов и диатомовых глин из других месторождений Зауралья [1–6]. Единственным отличием является довольно существенное содержание обломочного кварца и его концентрация в литогенетических трещинах.

В породе встречены литогенетические микротрещины толщиной 0.01–0.02 мм, слабоизвилистые, открытые или залеченные кремнистым и гидрослюдистым материалом. К микротрещинам приурочены вышеописанные скопления обломков кварца. Также в виде включений в породе содержатся редкие зерна глауконита, который,

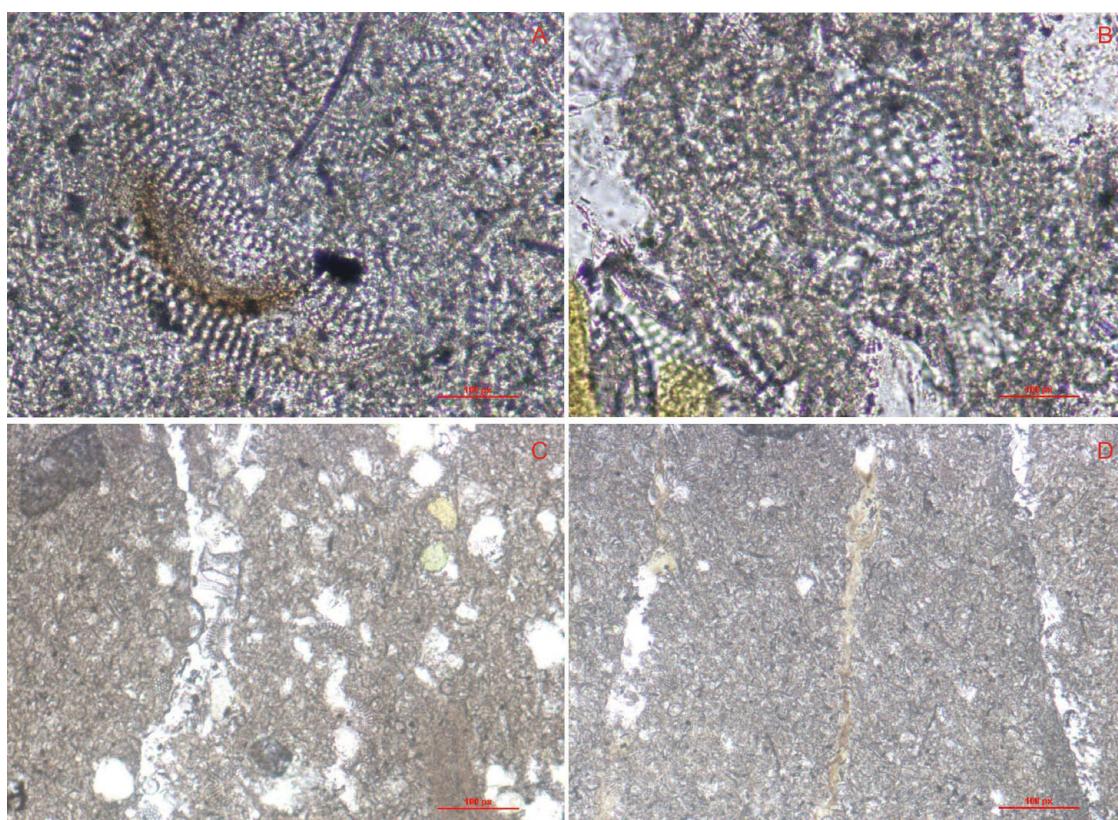


Рис. 3. Морфологические строения диатомитов по результатам изучения в шлифах: А, В — створки диатомовых водорослей рода *Pyxidicula*; С, Д — литогенетические трещины, заполненные кварцем

Fig. 3. Morphological structure of diatomite by the results of studying in thin sections: A, B — valves of diatom algae of the genus *Pyxidicula*; C, D — lithogenetic fractures filled by quartz



как правило, формируют мини-ассоциации и нередко приурочены к скоплениям обломочного материала.

## Заключение

Для диатомита разреза «Белая Горка» характерны четко выраженная биоморфная структура и нарушенная горизонтальная текстура. Минеральный состав представлен зернами кварца и калиевого полевого шпата и редкими включениями глинистых минералов: гидрослюдами, хлоритом, каолинитом. Диатомит обладает хорошей сохранностью кремнистых фоссилий комплекса *Coscinodiscus payeri* (Grunow). Наблюдаются огромное число интактных раковин, равно как препарированное от глинистых минералов поровое пространство. Такие различия диатомитов принято относить к числу высококачественного сырья: при производстве фильтровальных и сорбирующих материалов исходная микроструктура определяет возможность минимальной обработки сырья при отличных сорбирующих свойствах готовой продукции.

## Литература

1. Дистанов У. Г. Минеральное сырье. Опал-кристаллитовые породы // Справочник. М.: ЗАО «ГеоИнформМарк», 1998. 27 с.
2. Кремнистые породы СССР / под ред. У. Г. Дистанова. Казань: Татарское книжное издательство, 1976. 412 с.
3. Смирнов П. В. Предварительные результаты ревизии минерально-сырьевой базы опал-кристаллитовых пород в Среднем Зауралье // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 4. С. 28–37.
4. Смирнов П. В. Результаты комплексных исследований вещественного состава диатомитов Ирбитского месторождения // Там же. 2016. Т. 327. № 6. С. 93–104.
5. Смирнов П. В., Константинов А. О. Сравнительные исследования эоценовых и палеоценовых диатомитов Зауралья (на примере Камышловского месторождения и разреза Брусяна) // Там же. № 11. С. 96–104.
6. Смирнов П. В., Константинов А. О. Диатомовые глины Шадринского месторождения (Курганская область) // Георесурсы. 2016. Т. 18. № 3. С. 240–244.
7. Сыревая база кремнистых пород СССР и их использование в народном хозяйстве / Под ред. В.П. Петрова. М.: Недра, 1976. 104 с.
8. Aleksandrova G. N., Oreshkina T. V., Iakovleva A. I., Radionova E. P. Late Paleocene-Early Eocene diatoms and dinocysts from biosiliceous facies of the middle Trans-Urals region // Stratigraphy and Geological Correlation. 2012. V. 20. № 4. P. 380–404.
9. De Stefano M., De Stefano L., Congestri R. Functional morphology of micro-and nanostructures in two distinct diatom frustules // Superlattices and Microstructures. 2009. V. 46. № 1. P. 64–68.
10. De Stefano M., De Stefano L. Nanostructures in diatom frustules: functional morphology of valvocopulae in Cocconeidaceanmonoraphid taxa // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2005. V. 5. № 1. P. 15–24.
11. De Tommasi E., Rea I., De Stefano L., Dardano P., DiCaprio G., Ferrara M. A., Coppola G. Optics with diatoms: towards efficient, bioinspired photonic devices at the micro-scale // Proc. SPIE 8792, Optical Methods for Inspection, Characterization, and Imaging of Biomaterials. V. 8792. 2015. P. 1–6.
12. Ferrara M. A., Dardano P., De Stefano L., Rea I., Coppola G., Rendina I., Congestri R., Antonucci A., De Stefano M., De Tommasi E. Optical properties of diatom nanostructured biosilica in Arachnoidiscussp: micro-optics from mother nature. PLoS One. 2014. V. 9. № 7. pp. 1–8.
13. Lu J., Sun C., Wang Q. J. Mechanical simulation of a diatom frustule structure. Journal of Bionic Engineering. 2015. V. 12, 1, pp. 98–108.
14. Rea I. et al. Diatomite biosilicananocarriers for siRNA transport inside cancer cells // Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects. 2014. V. 1840. № 12. P. 3393–3403.

## References

1. Distanov U. G. Mineralnoe syre. *Opal-kristobalitovye porody* (Mineral raw. Opal-cristobalite rocks). Reference book, Moscow: Geoinformmark, 1998, 27 pp.
2. *Kremnistye porody SSSR* (Siliceous rocks of the USSR). Ed. U. G. Distanov. Kazan: Tatar Publishing house, 1976, 412 pp.
3. Smirnov P. V. *Predvaritelnye rezul'taty revizii mineralno-syrevoy bazy opal-kristobalitovyh porod v Sredнем Zaurale* (Preliminary results of revision of mineral raw base of opal-cristobalite rocks in Middle Timan). Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2017, V. 328, 4, pp. 28–37.
4. Smirnov P. V. *Rezul'taty kompleksnyh issledovanii veschestvennogo sostava diatomitov Irbitskogo mestorozhdeniya* (Results of complex researches of material composition of diatomites of Irbit deposit). Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2016, V. 327, 6, pp. 93–104.
5. Smirnov P. V., Konstantinov A. O. *Srovnitel'nye issledovaniya eotsenovyh i paleotsenovyh diatomitov Zauryalya (na primere Kamyshlovskogo mestorozhdeniya i razreza Brusyana)* (Comparative researches of Eocene and Paleocene diatomites of TransUrals (Kamyshlovskoe deposit and Brusyana quarry). Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2016, V. 327, 11, pp. 96–104.
6. Smirnov P. V., Konstantinov A. O. *Diatomovye gliny Shadrinskogo mestorozhdeniya (Kurganskaya oblast)* (Diatome clays of Shadrinskoe deposit (Kurgan region). Georesursy, 2016, V. 18, 3, pp. 240–244.
7. *Syrevaya baza kremnistyh porod SSSR i ih ispolzovanie v narodnom hozyaistve* (Ore base of siliceous rocks of the USSR and their use in Economics) Ed. V.P. Petrov, Moscow: Nedra, 1976, 104 pp.
8. Aleksandrova G. N., Oreshkina T. V., Iakovleva A. I., Radionova E. P. Late Paleocene-Early Eocene diatoms and dinocysts from biosiliceous facies of the middle Trans-Urals region. Stratigraphy and Geological Correlation. 2012. V. 20, 4, pp. 380–404.
9. De Stefano M., De Stefano L., Congestri R. Functional morphology of micro-and nanostructures in two distinct diatom frustules. Superlattices and Microstructures. 2009. V. 46, No. 1, pp. 64–68.
10. De Stefano M., De Stefano L. Nanostructures in diatom frustules: functional morphology of valvocopulae in Cocconeidaceanmonoraphid taxa. Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2005, V. 5, No. 1, pp. 15–24.
11. De Tommasi E., Rea I., De Stefano L., Dardano P., Di Caprio G., Ferrara M. A., Coppola G. Optics with diatoms: towards efficient, bioinspired photonic devices at the micro-scale. Proc. SPIE 8792, Optical Methods for Inspection, Characterization, and Imaging of Biomaterials. V. 8792. 2015, pp. 1–6.
12. Ferrara M. A., Dardano P., De Stefano L., Rea I., Coppola G., Rendina I., Congestri R., Antonucci A., De Stefano M., De Tommasi E. Optical properties of diatom nanostructured biosilica in Arachnoidiscussp: micro-optics from mother nature. PLoS One. 2014. V. 9. № 7. pp. 1–8.
13. Lu J., Sun C., Wang Q. J. Mechanical simulation of a diatom frustule structure. Journal of Bionic Engineering. 2015. V. 12, 1, pp. 98–108.
14. Rea I. et al. Diatomite biosilicananocarriers for siRNA transport inside cancer cells. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects. 2014. V. 1840, No. 12, pp. 3393–3403.