

**ГЕОЛОГИЯ  
И  
ГЕОФИЗИКА**

---

RUSSIAN  
**GEOLOGY  
AND  
GEOPHYSICS**

**6**

**Том 56, 2015**

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
НОВОСИБИРСК

## ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ ДИАТОМИТОВ

А.С. Авраменко<sup>1,2</sup>, М.В. Черепанова<sup>1</sup>, В.С. Пушкар<sup>2,3</sup>, С.Б. Ярусова<sup>4</sup><sup>1</sup>Биолого-почвенный институт ДВО РАН, 690022, Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159в, Россия<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, 690091, Владивосток, ул. Суханова, 8, Россия<sup>3</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 690022, Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159, Россия<sup>4</sup>Институт химии ДВО РАН, 690022, Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159, Россия

Дана детальная характеристика трех дальневосточных диатомитов: Пузановского (о. Кунашир, Курильские о-ва), Сергеевского и Тереховского (Южное Приморье). Установлены породообразующие таксоны (Пузановский — *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Hawort, *Stephanodiscus niagarae* var. *pusanovae* Genkal et Cherepanova, Сергеевский — *Staurosira construens* var. *venter* (Ehr.) Grun., *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim., представители рода *Cymbella* с крупными (до 175 мкм в длину) створками, Тереховский — *Aulacoseira praegrnulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica* (Sim.) Moiss.). Анализ морфометрических характеристик створок доминирующих таксонов показал, что для Тереховского диатомита характерна низкая, а Сергеевского и Пузановского — высокая вариабельность параметров створок. Сопоставление элементного состава панцирей диатомей и особенностей экологической структуры диатомовых палеосообществ позволили реконструировать условия водоемов, в которых обитали диатомей, образующие диатомиты. Высокое содержание кислорода и низкое кремния в створках Пузановского диатомита, скорее всего, свидетельствует о том, что диатомей входили в состав планктонных сообществ, которые формировались в глубоком, большом по площади пресном озере. Значительные концентрации кремния в створках Тереховского диатомита, наоборот, могут говорить о приуроченности диатомей к донным экотопам в неглубоком водоеме. Детальное изучение створок представителей рода *Aulacoseira* при помощи светового и электронного сканирующего микроскопов позволили также уточнить возраст отложений. Так, участие таксонов рода *Aulacoseira* из группы «прае» в Тереховском диатомите подтверждает его плиоценовый возраст, а присутствие створок современного вида *A. italica* в Сергеевском диатомите — позднплиоценовый. Выявленные особенности диатомитов позволяют определить возможности их использования в практических целях.

*Диатомит, пресноводные отложения, диатомовые водоросли, четвертичная система.*

## DIATOM CHARACTERISTICS OF THE FAR EAST SILICEOUS ORGANOGENIC DEPOSITS

A.S. Avramenko, M.V. Cherepanova, V.S. Pushkar, and S.B. Yarusova

Three Far East diatomites, Puzanov (Kunashir Island, Kuril Islands), Sergeevskii, and Terekhovka (Southern Primorye), are characterized in detail. Rock-forming taxa are identified (Puzanov—*Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Hawort and *Stephanodiscus niagarae* var. *pusanovae* Genkal et Cherepanova; Sergeevskii—*Staurosira construens* var. *venter* (Ehr.) Grun., *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim., and representatives of the genus *Cymbella* with large valves (up to 175 µm in length); Terekhovka—*Aulacoseira praegrnulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica* (Sim.) Moiss.). Morphometric analysis of valves of the dominant taxa showed a low variability of valve parameters for the Puzanov diatomite and a high one for the Sergeevskii and Terekhovka diatomites. The lake environments of the diatoms forming the diatomites were reconstructed based on the elemental composition of diatom valves and the ecological structure of diatom paleocommunities. The high oxygen and low silicon concentrations in valves of the Puzanov diatomite, most likely, indicate that the diatoms were part of plankton communities formed in a large deep freshwater lake. Significant concentrations of silicon in valves of the Terekhovka diatomite, in contrast, suggest that the diatoms occurred in benthic ecotopes in a shallow lake. The age of the deposits was refined by detailed studies of *Aulacoseira* valves, using light and scanning electron microscopes. For example, the presence of *Aulacoseira* taxa of the “prae” group in the Terekhovka diatomite confirms its Pliocene age, and the presence of valves of the present species *A. italica* in the Sergeevskii diatomite points to its Late Pliocene age. The identified features of the diatomites permit their use in practice.

*Diatomite, freshwater deposits, diatoms, Quaternary system*

## ВВЕДЕНИЕ

Диатомит — порода, состоящая более чем на 50 % из створок микроскопических диатомовых водорослей, некогда обитавших в древних водоемах [Диатомовые..., 1974; Лосева, 2002]. Эти водоросли строят свои панцири с генетически запрограммированными сложными узорами наноструктур из кремниевой кислоты [Round et al., 1990; Pickett-Heaps et al., 1990; Crawford et al., 2001]. Они способны размножаться необычайно высокими темпами. В результате при повышенном содержании в воде растворенной кремнекислоты, достаточном количестве питательных веществ, прежде всего фосфатов и нитратов, незначительном привносе минеральных и органических примесей, ухудшающих условия активного развития диатомей, при отсутствии сильных течений и волнений происходит формирование залежей диатомитов [Опал-кристаллитовые..., 1998]. Еще одним важным условием сохранности диатомовых створок в отложениях является низкая степень их растворения как в толще воды, так и в осадках [Barker et al., 1994; Dove, 1995; Левина и др., 2001; Ryves et al., 2001].

В зависимости от условий осадконакопления и возраста диатомиты характеризуются определенным составом породообразующих диатомей, количеством минеральных и органических примесей, соответственно, различными химическими и физико-механическими свойствами и, следовательно, областями их применения [Демидов, Шелехова, 2006].

Диатомиты относятся к неметаллическим полезным ископаемым и отличаются химической инертностью, низкой плотностью, высокой пористостью и др. Они используются как катализаторы, фильтры и сорбенты с заданным размером пор, упрочняющие наполнители композитов, дифракционные решетки оптических датчиков, добавки к некоторым типам цемента, в качестве сырья при производстве жидкого стекла, глазурей, бумаги, антибиотиков, красок и даже как микрокапсулы для лекарств [Cummins, 1973; Flynn, 2003; Obanijesu et al., 2004; Fustinoni et al., 2005]. В связи с необходимостью более эффективного использования природных ресурсов, даже в небольших количествах, спектр сфер использования диатомитов постоянно расширяется. Так, нанотехнологи надеются использовать панцири диатомовых водорослей в качестве реакционных сосудов для получения нанометровых кристаллов. Еще более широкие возможности открывает создание структур, повторяющих трехмерный кремнеземный скелет диатомей, но имеющих иной химический состав [Sandhage et al., 2002; Unocic et al., 2004; Haluska et al., 2005]. Из диатомитов путем химических преобразований получают новые материалы, например, минерал волластонит [Ярусова и др., 2012], который обладает уникальными технологическими свойствами [Тюльнин и др., 2003].

Для определения сферы применения того или иного диатомита необходимо всестороннее изучение характеристик породы, в том числе анализ таксономического состава диатомей, выявление породообразующих видов и основных морфометрических параметров их створок.

Всестороннего изучения дальневосточных диатомитов с целью определения их качества до сих пор не проводилось. Исследовался таксономический состав диатомовой флоры из некоторых отложений региона с целью выяснения возраста и генезиса осадков. Так, диатомеи из кремнистых органогенных отложений Курильских о-вов изучались на о. Итуруп в миоценовых и плиоценовых диатомитах морского генезиса [Жузе, 1962; Козыренко, Шешукова-Порецкая, 1967; Векшина, 1968] и плейстоценовом Пузановском диатомите [Черепанова, Гребенникова, 2001]. Последний является наиболее изученным с использованием методов, предлагаемых диатомовым анализом. В этих отложениях определен таксономический состав диатомовой флоры, установлены породообразующие таксоны и морфометрические характеристики их панцирей. Исследование створок одного из доминирующих таксонов в СЭМ позволило описать новую разновидность *Stephanodiscus niagarae* var. *pusanovae* Genkal et Cherepanova [Генкал, Черепанова, 2009]. В Приморье изучался таксономический состав диатомовых флор, выделенных из эоценовых, миоценовых и плиоценовых диатомитов [Моисеева, 1971, 1995; Павлюткин и др., 1993, 2004; Лихачева и др., 2009].

Статья посвящена детальным исследованиям трех дальневосточных диатомитов с применением методов, предлагаемых комплексным диатомовым анализом.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для настоящего исследования послужили пробы из трех небольших залежей диатомитов (рис. 1), находящихся в различных районах Дальнего Востока: 1) на мысе Пузанова (о. Кунашир, Курильские о-ва); 2) на юге Приморского края, в верховьях ручья Сергеевский; 3) вблизи с. Тереховка (Надеждинский район, Приморский край).

Мощность **Пузановского диатомита** около 10 м. Он вскрывается на высоте примерно 50 м над уровнем моря в 70-метровом береговом обрыве вблизи м. Пузанова. Видимая протяженность линзы диатомита 50 м. Диатомит залегает на синевато-серых тонкослоистых раннеплейстоценовых алевритах морского генезиса [Пушкарь, Черепанова, 2001]. Перекрыты диатомовые отложения тефрой с эоловой

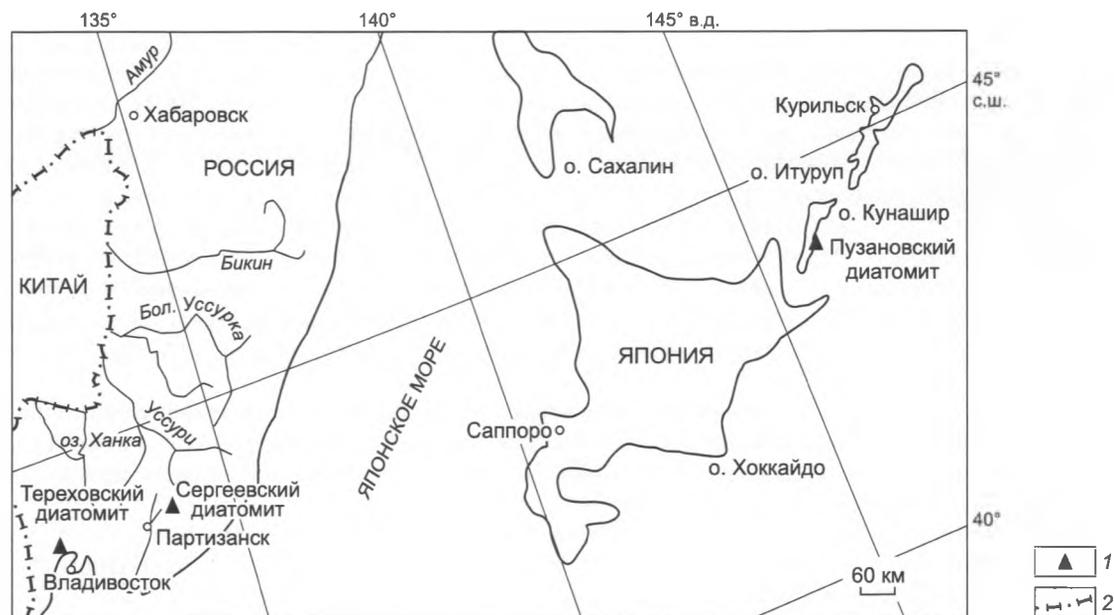


Рис. 1. Схема района исследований.

1 — местонахождение диатомитов. 2 — государственная граница.

супесью и почвой мощностью до 8 м. Возраст диатомита предположительно датируется средним плейстоценом [Черепанова, Гребенникова, 2001]. Порода слабосцементированная, белая со слегка желтоватым оттенком, пачкает руки, как мел, легкая. Из разреза диатомита изучено 8 проб.

Три образца **Сергеевского диатомита** отобраны из прослоев кремнистых органических отложений в нижней части верхнемиоцен-плиоценовой толщи базальтов [Коваленко, 1989] с глубины 89.5—82.5 м, вскрытых скважинами 27, 28, пробуренными ООО «Приморгеология» в 1988 г. Полная мощность и протяженность диатомита не установлена. Диатомит легкий, слабосцементированный, от белого до желтого цвета.

Пять образцов **Тереховского диатомита** отобраны из карьера в районе с. Тереховка в т. 4131, где вскрыты отложения шуфанского горизонта, слагающие аллювиальную террасу р. Палеораздольная [Павлюткин, Петренко, 2010]. Мощность прослоя диатомита составляет 4 м. Диатомит слабо сцементирован, белый, со слегка желтоватым оттенком. Возраст диатомита плиоценовый [Павлюткин, 2008; Лихачева и др., 2009; Павлюткин, Петренко, 2010].

Для каждого из диатомитов определялись: количество створок диатомей на 1 г сухой породы, таксономический состав, породообразующие таксоны, размерность и химический состав их створок.

Техническая обработка образцов осуществлялась по общепринятой методике с применением перекиси водорода [Диатомовые..., 1974].

Таксономический анализ, подсчет створок диатомей, измерение диаметра, длины, ширины створок проводились в световых микроскопах (СМ) Amplival-Carl-Zeiss и Axioskop 40 Carl Zeiss на стекле 18 × 18 мм при увеличении ×2000 с иммерсионной жидкостью в Центре коллективного пользования БПИ ДВО РАН. С целью определения участия отдельных видов в тафоценозах диатомей подсчитывалось 250—300 створок. Изучение морфологических особенностей створок проводилось также в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Carl Zeiss EVO 40 при увеличении до 15000. Оставшийся после приготовления препарата для изучения в СМ осадок высушивали. Затем полученный порошок наносили на специальные столики с наклеенным двусторонним углеродным скотчем. В напылителе JEOL JFC-1600 объекты в вакууме покрывали золотом.

Определение содержания створок диатомей в 1 г осадка ( $N$ ) проводилось по формуле:  $N = (d \cdot nr \cdot ns / g \cdot v \cdot nrs) \cdot 3$ , где  $d$  — разбавление (100 мл),  $nr$  — число рядов в препарате при увеличении ×2000 (225),  $ns$  — число подсчитанных створок,  $g$  — навеска,  $v$  — объем капли (0.04—0.06 мл),  $nrs$  — число просмотренных рядов [Минюк и др., 2003].

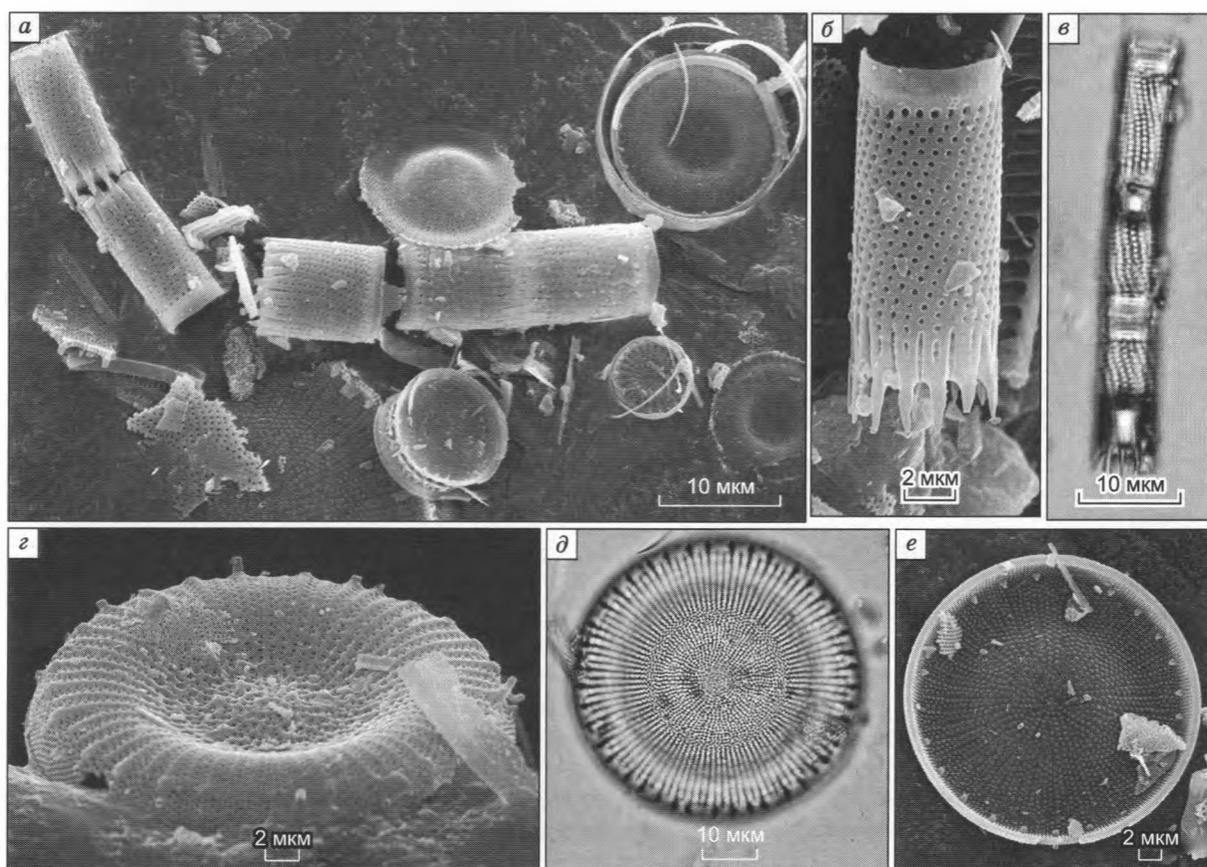
Изучение химического состава створок породообразующих таксонов диатомей осуществлялось в лаборатории микро- и наноисследований ДВГИ ДВО РАН с помощью аналитического СЭМ JSM 6490 LV с приставкой EDS INCA Energy.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННЫХ ДИАТОМИТОВ

Флора из диатомита на м. Пузанова включает 155 видов и внутривидовых разновидностей диатомовых, но наибольшую роль в формировании Пузановского диатомита играют планктонные центрические диатомеи (рис. 2, *a*). Изучение створок диатомей с применением СЭМ позволило уточнить видовую принадлежность некоторых видов по сравнению с предыдущим исследованием [Черепанова, Гребенникова, 2001]. Выявлено, что породообразующими таксонами для данного диатомита являются *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Hawort (см. рис. 2, *б, в*) с оценками обилия до 46.0 % от общего количества створок, подсчитанных в препарате, и *Stephanodiscus niagarae* var. *pusanovae* Genkal et Cherepanova (см. рис. 2, *з, д, е*), участие которого в ископаемых сообществах диатомей достигает 26.0 %. Сохранность панцирей диатомей хорошая. Содержание створок в 1 г осадка составляет  $9.6 \cdot 10^8$ .

Размеры створок породообразующих таксонов представлены в табл. 1. Диаметр *S. niagarae* var. *pusanovae* изменяется от 19.67 до 61.88 мкм, изменчивость этого показателя относительно невысокая, коэффициент вариации ( $C_v$ ) равен 18.02. У *A. subarctica* измерялись: диаметр и высота створки. Минимальный диаметр соответствовал 1.88 мкм, максимальный — 8.16 мкм, высота створки — 6.78 и 17.42 мкм соответственно. Наиболее постоянной для этого вида является высота створки,  $C_v = 11.68$ . Отношения высоты створки к ее диаметру варьируют в диапазоне 1.55—7.10, среднее значение признака — 3.58, хотя для большего числа створок этот показатель ограничен пределами 3.0—3.96.

Содержание химических элементов определялось в панцирях породообразующих таксонов (табл. 2). Концентрация кислорода изменялась в створках *A. subarctica* — от 66.38 до 90.82 %, *S. niagarae* var. *pusanovae* — от 62.82 до 86.82 %, кремния в створках *A. subarctica* — от 9.18 до 30.22 %, *S. niagarae* var. *pusanovae* — от 10.63 до 34.56 %. Наиболее часто отмечаемыми примесями являлись железо (0.23—1.23 % в створках *A. subarctica*, 0.31—1.97 % в створках *S. niagarae* var. *pusanovae*) и алюминий (0.27—1.12 % в створках *A. subarctica*, 0.25—0.99 % в створках *S. niagarae* var. *pusanovae*). Относительно высокое содержание (до 2.25 %) вольфрама определено в крупных створках *S. niagarae* var. *pusanovae*.



**Рис. 2. Породообразующие таксоны Пузановского диатомита:**

*a* — общий вид диатомита, СЭМ; *б, в* — *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) Hawort (*б* — СЭМ, *в* — СМ); *з, д, е* — *Stephanodiscus niagarae* var. *pusanovae* Genkal et Cherepanova, СЭМ (*з, е* — СЭМ, *д* — СМ).

Таблица 1. Размеры створок породообразующих таксонов Пузановского диатомита

Вид	Кол-во створок	Размер, мкм			σ	C <sub>v</sub>
		миним.	максим.	средний		
<i>Stephanodiscus niagarae</i> var. <i>pusanovae</i> Genkal et Cherepanova	240	19.67	61.88	32.41 ± 0.38	5.84	18.02
<i>Aulacoseira subarctica</i> (O. Müll.) Hawort (высота створки)	216	6.78	17.42	12.45 ± 0.09	1.45	11.68
<i>Aulacoseira subarctica</i> (O. Müll.) Hawort (диаметр створки)	248	1.88	8.16	3.73 ± 0.06	1.00	26.75

Примечание. C<sub>v</sub> — коэффициент вариации; σ — среднее квадратичное отклонение; ± стандартная ошибка среднего.

Таблица 2. Содержание (%) химических элементов в створках породообразующих таксонов диатомей Пузановского диатомита

*Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Hawort

Элемент	AS-1-1-1*	AS-2-1-1	AS-3-1-1	AS-4-1-1	AS-5-1-1	AS-6-1-1	AS-7-1-1	AS-8-1-1	AS-9-1-1	AS-10-1-1
Si	30.22	15.42	10.71	9.18	15.01	22.02	12.61	21.04	18.82	15.57
O	66.38	84.35	89.29	90.82	84.35	75.63	87.39	78.69	80.32	84.43
Al	0.49	—	—	—	0.26	1.12	—	0.27	0.43	—
Ca	0.29	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe	0.51	0.23	—	—	0.38	1.23	—	—	0.43	—
W	2.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—

*Stephanodiscus niagarae* var. *pusanovae* Genkal et Cherepanova

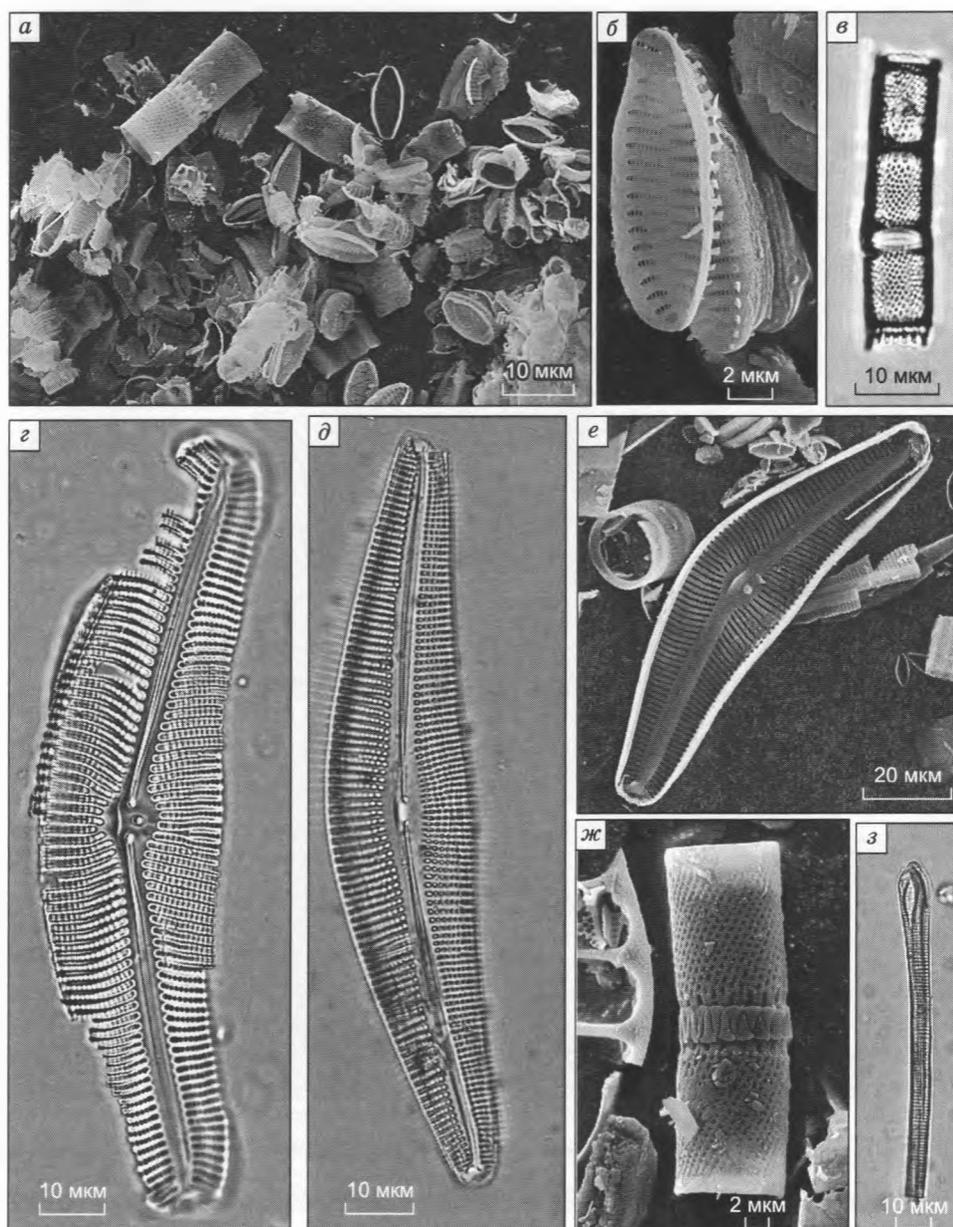
Элемент	SN-1-1-1	SN-2-1-1	SN-3-1-1	SN-4-1-1	SN-5-1-1	SN-6-1-1	SN-7-1-1	SN-8-1-1	SN-9-1-1	SN-10-1-1	SN-11-1-1	SN-12-1-1	SN-13-1-1	SN-14-1-1
Si	23.86	20.32	32.32	33.92	12.44	24.90	21.31	21.56	34.56	23.82	10.63	25.13	17.73	23.07
O	73.27	78.67	67.68	62.82	86.82	73.81	78.69	78.12	64.50	75.09	83.44	71.55	80.81	74.68
Al	0.56	0.44	—	0.99	0.25	0.61	—	—	—	0.40	—	0.51	0.41	—
Ca	0.20	—	—	0.32	—	—	—	—	—	—	5.93	0.17	—	—
Fe	0.37	0.57	—	1.97	—	0.69	—	0.31	—	0.70	—	0.53	1.05	—
W	1.74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.12	—	2.25
Cu	—	—	—	—	0.48	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Br	—	—	—	—	—	—	—	—	0.94	—	—	—	—	—

\* Здесь и далее — номер спектра: буквы — сокращенное название таксона; цифры: первая — номер объекта (створки), вторая — повторность измерений; третья — номер точки на объекте, в которой проводилось определение содержания химических элементов.

Таблица 3. Размеры створок породообразующих таксонов Сергеевского диатомита

Вид	Кол-во створок	Размер, мкм			σ	C <sub>v</sub>
		миним.	максим.	средний		
<i>Staurosira construens</i> var. <i>venter</i> (Ehr.) Grun. (длина створки)	240	3.79	23.22	10.64 ± 0.26	4.06	38.2
<i>Staurosira construens</i> var. <i>venter</i> (Ehr.) Grun. (ширина створки)	255	2.96	5.65	4.19 ± 0.03	0.45	10.94
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehr.) Sim. (диаметр створки)	252	3.2	19.14	7.81 ± 0.16	2.59	33.27
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehr.) Sim. (высота створки)	244	6.53	20.47	11.87 ± 0.13	2.07	17.49

В составе диатомовой флоры Сергеевского диатомита, представленной 25 видами и внутривидовыми разновидностями, преобладают бентосные пеннчатые мелкостворчатые формы, планктонные диатомеи имеют более низкие оценки обилия (рис. 3, а). Для отложений характерны монодоминантные диатомовые палеосообщества с *Staurosira construens* var. *venter* (Ehr.) Grun. (см. рис. 3, б) (частота встречаемости до 84.8 %). Относительно высокие оценки обилия имеет *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim. (см. рис. 3, в, ж) с долей участия до 15.6 %. Необходимо отметить присутствие крупностворчатых видов рода *Cymbella*: *C. aspera* (Ehr.) Cl. (см. рис. 3, д) и *C. aff. australica* A.S. (см. рис. 3, з, е). Хотя содержание их в осадке невелико (около 2 %) и на фоне ярко выраженного доминирования мелкостворчатой *S. construens* их вклад в формирование ископаемых сообществ диатомей невелик, большие размеры створок этих таксонов (до 175 мкм в длину), с некоторой долей условности, позволяют рассматривать их как



**Рис. 3. Породообразующие таксоны Сергеевского диатомита:**

*a* — общий вид диатомита, СЭМ; *б* — *Stausosira construens* var. *venter* (Ehr.) Grun., СЭМ; *в, ж* — *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim., (*в* — СМ, *ж* — СЭМ); *з, е* — *Cymbella* aff. *australiana* A.S. (*з* — СМ, *е* — СЭМ); *д* — *C. aspera* (Ehr.) Cl., СМ; *з* — *Actinella brasiliensis* Grun., СМ.

породообразующие. Сохранность панцирей диатомовых водорослей, встреченных в отложениях, хорошая. Содержание створок в 1 г осадка составляет  $6.1 \cdot 10^8$ .

Длина створок доминирующей *S. construens* var. *venter* изменяется от 3.79 до 23.22 мкм (табл. 3), ширина — от 2.96 до 5.65 мкм,  $C_v$  последнего показателя = 10.94. Диаметр створок сопутствующего вида *A. italica* изменяется от 3.2 до 19.14 мкм, высота — от 6.53 до 20.47 мкм, и этот показатель является менее вариabельным ( $C_v = 17.49$ ) по сравнению с диаметром створки, для которого  $C_v = 33.27$  (см. табл. 3). Отношение высоты створки к ее диаметру варьирует в диапазоне 0.97—3.62, у значительной части створок в пределах 1.20—1.89, среднее значение признака 2.02. Длина створок *C. aff. australica* изменяется в диапазоне от 94.94 до 175.04 мкм, а ширина — от 25.50 до 33.43 мкм.

Химический состав створок породообразующих таксонов Сергеевского диатомита представлен в табл. 4. Содержание основных элементов изменяется: для кислорода — от 68.63 до 89.77 % в створках

Таблица 4. Содержание (%) химических элементов в створках породообразующих таксонов диатомей Сергеевского диатомита

<i>Aulacoseira italica</i> (Ehr.) Sim.																	
Элемент	AI-1-1	AI-1-2	AI-2-1-1	AI-2-1-2	AI-3-1-1	AI-3-1-2	AI-4-1-1	AI-4-1-2	AI-5-1-1	AI-6-1-1	AI-6-1-2	AI-8-1-1	AI-8-1-2	AI-9-1-1	AI-9-1-2	AI-10-1-1	AI-10-1-2
Si	32.97	36.79	32.30	40.11	21.48	32.99	24.41	16.89	18.81	21.47	25.65	17.21	19.31	21.76	21.40	20.66	22.89
O	66.73	63.21	67.70	59.89	77.89	67.01	75.59	83.11	80.94	78.53	74.35	81.01	80.69	76.01	78.33	79.34	77.11
Al	0.30	—	—	—	—	—	—	—	0.25	—	—	0.24	—	0.30	—	—	—
Br	—	—	—	—	0.63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	0.27	—	—
W	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.54	—	1.58	—	—	—

<i>Staurosira construens</i> var. <i>venter</i> (Ehr.) Grun.														
Элемент	SC-1-1-1	SC-1-1-2	SC-2-1-1	SC-2-1-2	SC-3-1-1	SC-4-1-1	SC-4-1-2	SC-4-1-3	SC-5-1-1	SC-6-1-1	SC-7-1-1	SC-8-1-1	SC-9-1-1	SC-10-1-1
Si	23.36	23.13	26.10	24.0	31.37	20.34	12.17	16.44	23.68	18.80	15.30	10.90	12.75	10.23
O	76.64	76.60	73.90	76.00	68.63	79.39	87.63	83.32	75.85	81.20	84.70	89.10	87.25	89.77
Al	—	0.27	—	—	—	0.27	0.20	0.24	0.27	—	—	—	—	—
Ca	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	—	—	—	—	—

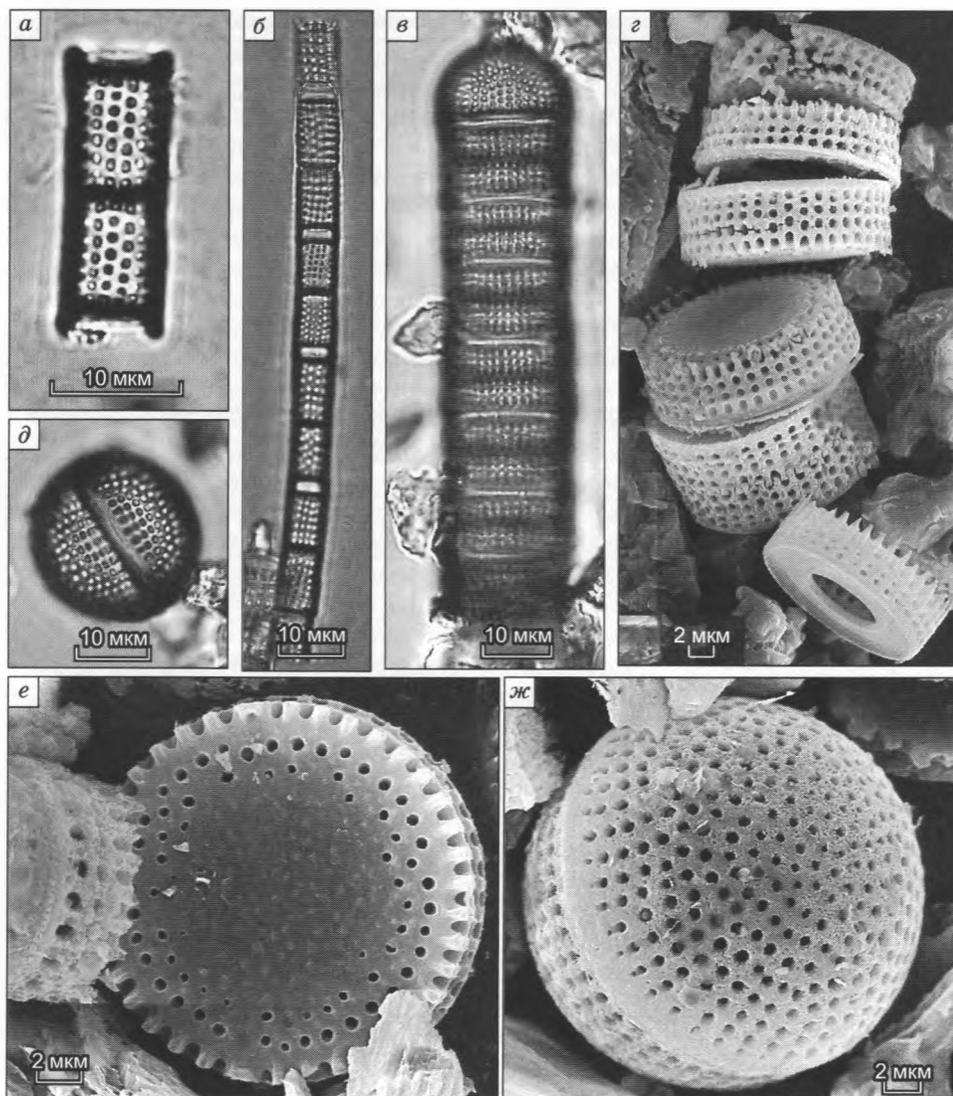
  

<i>Cymbella</i> aff. <i>australiana</i> A.S.																				
Элемент	C-2-1-1	C-2-1-2	C-3-1-1	C-3-1-2	C-4-1-1	C-4-1-2	C-4-1-3	C-4-1-4	C-5-1-1	C-5-1-2	C-6-1-1	C-6-1-2	C-7-1-1	C-7-1-2	C-8-1-1	C-8-1-2	C-9-1-1	C-9-1-2	C-10-1-1	C-10-1-2
Si	42.77	36.52	36.01	27.46	31.02	33.62	17.97	21.84	28.61	20.02	33.26	24.79	33.08	16.75	32.07	56.44	33.01	24.45	41.37	28.83
O	57.23	63.49	63.99	72.53	68.98	66.38	81.63	77.67	71.39	79.47	65.00	75.21	64.78	83.26	65.49	43.56	64.71	75.55	56.34	70.95
Al	—	—	—	—	—	—	0.26	0.49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.21
K	—	—	—	—	—	—	0.15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cu	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.74	—	2.13	—	2.44	—	2.28	—	2.29	—

*S. construens* var. *venter*, от 59.89 до 83.11 % в створках *A. italica* и от 43.56 до 83.26 % в створках *C. aff. australiana*; для кремния — от 10.23 до 31.37 % в створках *S. construens* var. *venter*, от 16.89 до 40.11 % в створках *A. italica* и от 16.75 до 56.44 % в створках *C. aff. australiana*. Из примесей более высокие концентрации (до 2.44 % в створках *C. aff. australiana*) характерны для вольфрама. Концентрации железа и алюминия невысокие, и эти элементы не являются постоянным компонентом створок из данного диатомита. С некоторой долей условности можно говорить о присутствии алюминия (до 0.27 %) в створках *S. construens* var. *venter*.

Флора Тереховского диатомита образована 36 видами и внутривидовыми таксонами. В формировании отложений большую роль играют планктонные центрические диатомеи. Пороодообразующими являются представители рода *Aulacoseira* Thw. Доминирующий таксон — *Aulacoseira praegranulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica* (Sim.) Moiss. (рис. 4, а, б), его участие в палеосообществах диатомей достигает 93.2 %. Анализ размерных характеристик створок этого вида из Тереховского диатомита позволил выделить две обособленные совокупности. Первую образуют створки *A. praegranulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica*, содержание их в палеосообществах достигает 72.4 %. Они отличаются высоким загибом и небольшим диаметром и, соответственно, более высокими показателями отношения высоты створки к ее диаметру. Во вторую совокупность включены створки с низким загибом (см. рис. 4, в, г, е), большим диаметром и невысокими показателями отношения высоты створок к диаметру. Содержание их в палеосообществах достигает (20.1 %). Формы с такими характеристиками были встречены А.П. Жузе [1952] в миоценовых отложениях оз. Ханка и отнесены к *Melosira praedistans* Jousé. Позже этот вид был включен в синонимику *Aulacoseira praegranulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica* (Sim.) Moiss. [Диатомовые..., 1992]. Выделенные в изученном материале морфологические совокупности створок для удобства названы нами: «*praeislandica*» и «*praedistans*» соответственно. Оценки обилия остальных таксонов невелики, менее 1 %, исключение составляет *Melosira undulata* (Ehr.) Kütz., частота встречаемости которой 2.7 %. Сохранность панцирей диатомей в породе хорошая. Содержание створок в 1 г осадка  $1.5 \cdot 10^9$ .

Размеры створок породообразующих таксонов представлены в табл. 5. Ввиду большой морфологической вариабельности створок доминирующего таксона отдельно рассмотрены размерные характеристики для первой — «*praeislandica*» и для второй «*praedistans*» совокупностей. Минимальный диаметр створок группы «*praeislandica*» 4.45 мкм, максимальный 10.21 мкм, высота — 7.84 и 12.34 мкм



**Рис. 4. Породообразующие таксоны Тереховского диатомита:**

*a, б* — *Aulacoseira praeislandica* var. *praeislandica* f. *praeislandica* (Sim.) Moiss., CM; *д, ж* — покоящиеся споры *Aulacoseira*, (*д* — CM, *ж* — СЭМ); *в, г, е* — морфологическая группа *A. praedistans* (*в* — CM, *г, е* — СЭМ).

соответственно. Необходимо отметить, что более постоянной у этого таксона является высота створки,  $C_v = 10.84$ . Минимальный диаметр створок группы «*praedistans*» 11.77 мкм, максимальный 22.80 мкм, высота створки — 3.25 и 8.75 мкм соответственно. Отношения высоты створки к ее диаметру у обоих представителей рода *Aulacoseira* варьируют довольно незначительно: «*praeislandica*» — от 0.56 до 2.16, среднее — 1.13, для большей части створок величина этого показателя изменяется от 0.60 до 0.69; «*praedistans*» — от 0.24 до 0.63, среднее — 0.36, для большей части створок пределы этого признака ограничены пределами 0.24—0.28 и 0.40—0.47. Изменчивость высоты створки достаточно высокая,  $C_v = 19.64$ , более постоянным является диаметр створки,  $C_v = 15.22$ .

Химический состав створок таксонов, являющихся породообразующими для Тереховского диатомита, представлен в табл. 6. Содержание основных элементов изменяется: для кислорода — от 50.47 до 52.86 % в створках группы «*praedistans*», от 49.54 до 52.59 % в створках, объединенных в группу «*praeislandica*»; для кремния — от 35.49 до 43.73 % в створках «*praedistans*» и от 29.33 до 44.13 % в створках «*praeislandica*». Из примесей более высокие концентрации (до 2.39 % в створках из группы «*praeislandica*») характерны для железа. Примеси меди, калия, натрия и магния постоянны для створок обоих представителей. В створках из группы «*praeislandica*» встречается титан.

Таблица 5. Размеры створок породообразующих таксонов Тереховского диатомита

Вид	Кол-во створок	Размер, мкм			σ	C <sub>v</sub>
		миним.	максим.	средний		
<i>Aulacoseira praegrnulata</i> var. <i>praeislandica</i> f. <i>praeislandica</i> (Sim.) Moiss. (высота створки)	53	7.84	12.34	9.95 ± 0.15	1.15	10.84
<i>Aulacoseira praegrnulata</i> var. <i>praeislandica</i> f. <i>praeislandica</i> (Sim.) Moiss. (диаметр створки)	52	4.45	10.21	6.66 ± 0.15	1.05	15.83
Морфологическая группа <i>Aulacoseira «praedistans»</i> (высота створки)	65	3.25	8.75	5.00 ± 0.10	0.99	19.64
Морфологическая группа <i>Aulacoseira «praedistans»</i> (диаметр створки)	98	11.8	22.8	16.35 ± 0.25	2.48	15.22

Таблица 6. Содержание (%) химических элементов в створках породообразующих таксонов Тереховского диатомита

<i>Aulacoseira praegrnulata</i> var. <i>praeislandica</i> f. <i>praeislandica</i> (Sim.) Moiss.											
Элемент	API-1-1	API-1-2	API-2-1-1	API-16-1-1	API-16-1-2	API-23-1-1	API-23-1-2	API-23-1-3	API-23-1-4	API-23-1-5	API-23-1-6
Si	41.71	39.37	38.5	44.13	44.07	34.74	33.82	41.34	41.19	42.51	29.33
O	52.59	52.11		52.62	52.60	49.99	49.98	52.06	51.90	52.30	49.54
Al	5.7	7.65	8.18	2.33	2.39	9.26	10.53	4.78	3.93	3.99	16.69
Ca	—	—	—	—	0.23	—	—	—	—	—	—
Cu	—	—	0.57	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe	—	0.33	0.51	0.41	0.40	2.39	2.41	0.55	0.94	0.88	4.19
W	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mg	—	0.27	0.31	—	—	1.03	0.72	0.27	—	—	—
Ti	—	0.28	—	—	—	0.27	0.50	0.22	1.69	—	—
K	—	—	0.26	0.21	0.31	1.19	0.92	0.31	0.35	0.32	—
Na	—	—	—	0.30	—	1.12	1.12	0.46	—	—	0.24

Морфологическая группа <i>Aulacoseira «praedistans»</i>									
Элемент	APD-8-1-1	APD-8-1-2	APD-8-1-3	APD-8-1-4	APD-8-1-5	APD-13-1-1	APD-13-1-2	APD-13-1-3	
Si	42.43	43.73	41.59	42.76	40.79	38.45	37.60	35.49	
O	52.60	52.86	52.39	52.48	52.17	50.47	51.17	50.75	
Al	4.69	3.41	5.48	3.89	6.14	6.27	8.41	10.41	
Ca	—	—	—	—	—	—	—	—	
Fe	0.28	—	—	—	0.30	0.33	0.68	0.74	
W	—	—	—	—	—	—	—	—	
Cu	—	—	0.54	0.60	0.60	—	0.51	1.15	
Br	—	—	—	—	—	—	—	—	
K	—	—	—	0.16	—	3.97	0.88	0.52	
Na	—	—	—	—	—	0.51	0.46	0.56	
Mg	—	—	—	—	—	—	0.30	0.37	

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение таксономического состава и экологической структуры диатомовых палеосообществ, выделенных в диатомитах, позволило установить условия их образования. Ярко выраженное доминирование и высокая концентрация створок планктонных центрических диатомей в Пузановском диатомите свидетельствуют о том, что он формировался в значительном по площади, глубоком пресном озере. Именно такой состав диатомовой флоры характерен для современных крупных озер [Давыдова, 1985; Gibson et al., 2003]. Высокое разнообразие обрастателей и донных форм обусловлено наличием в водоеме развитой литорали с водной растительностью. Глубины озера на протяжении всего времени образования диатомита были относительно большими (> 10 м). Воды отличались прозрачностью, хорошей аэрацией, высоким содержанием кислорода, пониженной кислотностью, невысоким содержанием солей и высокой степенью эвтрофности. Исчезновение водоема, как и его появление, связано с тектоническими

подвижками территории или с возобновлением вулканической деятельности — толща диатомита перекрыта и подстилается прослоями пирокластического материала [Черепанова, Гребенникова, 2001].

Породообразующими таксонами для Пузановского диатомита являются *A. subarctica* и *S. niagarae* var. *puzanova*. Сходную по составу доминирующего комплекса диатомей флору имеют диатомиты Саллинского месторождения раннеплиоценового-позднечетвертичного возраста в Армении [Головенкина, 1981], а также нижнеплейстоценовые озерные отложения формаций Урюзаки [Tanaka, 2000] и Оникобе [Tanaka, Nagumo, 2006] в Японии.

В составе диатомовой флоры Сергеевского диатомита преобладают бентосные пеннатные мелкостворчатые формы, участие планктонных диатомей незначительно. Накопление створок, формирующих Сергеевский диатомит, происходило в мелководном эвтрофном водоеме с заболоченными (присутствуют представители родов *Eunotia*, *Cymbella*, *Neidium*) берегами, возможно, в старице, расположенной в пойме небольшой реки (мелкостворчатые *Staurosira*, *Pseudostaurosira*, *Staurosirella*). Подобный таксономический состав и экологическую структуру сообществ имеют небольшие озера лесной зоны [Pienitz, Smoll, 1993; Laing, Pienitz, 1999; Черепанова и др., 2013]. Интересна находка в отложениях *Actinella brasiliensis* Grun. (см. рис. 3, з), что дает нам основание говорить об относительно теплых климатических условиях развития диатомовой флоры. Особенности таксономического состава и экологической структуры флоры Сергеевского диатомита сходны с таковыми комплекса диатомовой зоны *Aulacoseira praegr anulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica*, соответствующей позднему плиоцену [Лихачева и др., 2009]. Вместе с тем отсутствие створок вида-индекса зоны *A. praegr anulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica* и участие в палеосообществах современной *A. italica*, вероятно, свидетельствуют о формировании отложений в самом конце позднего плиоцена.

Породообразующими для Сергеевского диатомита являются *S. construens* var. *venter*, а также *A. italica* и *Cymbella* aff. *australica*. Сходные по составу породообразующей группы диатомиты голоценового возраста, отнесенные И.Н. Демидовым и Т.С. Шелеховой [2006] к выделяемому ими II типу, представлены в Карелии, о. Кунашир [Черепанова, Гребенникова, 2001], Армении [Головенкина, 1981].

В формировании Тереховского диатомита большую роль играют планктонные центрические диатомеи рода *Aulacoseira*. Накопление створок происходило в небольшом маломинерализованном водоеме, скорее всего, местами заболоченном (присутствуют представители рода *Eunotia*), который периодически пересыхал и наполнялся водой во время наводнений или паводков. Об этом свидетельствуют глины, представленные в отложениях разреза, а также включения песка. Необходимо отметить, что во время накопления диатомитовой толщи реки Раздольной в современном ее состоянии еще не существовало [Павлюткин, Боровский, 1988].

Породообразующими таксонами являются представители рода *Aulacoseira*. Сходные по составу диатомиты встречены И.Н. Демидовым и Т.С. Шелеховой [2006] в Карелии и отнесены к выделяемому этими авторами I типу.

Сохранность панцирей диатомей во всех диатомитах хорошая, так как существовали определенные благоприятные условия для сохранения створок отмерших диатомей: близкий к нейтральному кислотно-щелочной баланс (рН) как наддонных, так и иловых вод и наличие участков спокойных вод, где происходило отложение панцирей диатомей.

Во всех изученных нами диатомитах содержание створок в 1 г породы довольно высокое. Так, наибольшая концентрация створок установлена в Тереховском диатомите — 1.5 млрд, несколько меньшая — в Пузановском диатомите — 960 млн, наименьшее количество створок встречено в Сергеевском диатомите — 610 млн ств./1 г сухого осадка. Такие концентрации створок в осадках могут свидетельствовать о высоком содержании в водоемах химических элементов, стимулирующих рост и интенсивность размножения диатомей [Фанерозойские..., 2000]. Они могли поступать в водоемы с продуктами вулканической деятельности, содержащими кремний, алюминий, железо, титан, фосфор и т.д., необходимые для построения диатомовых створок. Об активной вулканической деятельности свидетельствуют прослойки вулканического пепла и базальтов, вскрытые изученными разрезами. При этом концентрация створок в осадках может говорить о разных типах вулканических извержений. Эксплозивные извержения вулканов Курильских о-вов с сопутствующими выбросами пирокластического материала [Белоусов, 2006] обеспечивали осаждение пеплового материала на значительной территории, в том числе и поверхности озера, в котором формировался Пузановский диатомит. О сходных условиях осадконакопления Тереховского диатомита свидетельствуют результаты гранулометрического анализа отложений в скв. 415 [Павлюткин, Петренко, 2010]. Мелкие вулканические частицы, попадая в водоем, более активно обеспечивают его необходимыми для построения створок веществами, по сравнению, например, с базальтовыми прослоями, которые выстилают дно, как это отмечается для озера, в котором образовался Сергеевский диатомит. Во время формирования кремнистых отложений бассейн р. Сергеевка являлся краевой частью грабенообразной структуры, расположенной в области тектономагматической активности Восточного Сихотэ-Алиня [Коваленко, 1989].

Вместе с тем нельзя забывать и о другой возможной причине высокой продуктивности диатомей. Это продолжительный вегетативный период, обусловленный палеоклиматическими особенностями региона. В современных водоемах умеренных широт диатомей максимально продуцируют в весенне-осенний период и зачастую имеют подчиненное положение в составе альгофлоры по сравнению с другими отделами водорослей, поэтому содержание их в осадках незначительно. Во время глобальных похолоданий, сопровождающихся повышением иллювиальности, период вегетации диатомей значительно увеличивается, в результате диатомей становятся лидирующими в альгологическом составе. Оценивая климатические условия периодов накопления диатомитов, необходимо заметить, что Пузановский диатомит формировался при влажном и относительно прохладном, климате [Черепанова, Гребенникова, 2001], палинологические данные, полученные для плиоценовых отложений Приморского края, свидетельствуют, что климат здесь также был прохладным [Павлюткин, Петренко, 2010].

Одной из основных характеристик диатомитов является их гранулометрический состав. Для этого были проанализированы морфометрические признаки створок породообразующих таксонов. Показателями гранулометрической однородности пород могут являться коэффициент вариации отдельных морфометрических параметров створок и отношение высоты створок к их диаметру у центральных таксонов, которое используется и как критерий для их таксономической диагностики [Krammer, Lange-Bertalot, 1991; Генкал, 1999; Усольцева, 2005]. Наиболее однородным по этим показателям является Тереховский диатомит (общий  $C_v$  для створок диатомита равен 48.6). Это обусловлено прежде всего тем, что формируют породу створки таксонов, принадлежащих одному роду центральных диатомей. Коэффициенты вариации высоты загиба и диаметра створок породообразующей *A. praegrnulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica* относительно низкие и равны 10.8 и 15.8 соответственно. Створки, включенные в совокупность «*praedistans*», более вариабельны ( $C_v$  высоты загиба 19.6, а диаметра 15.2), именно высокие значения отношения высоты загиба к диаметру, превышающие таковые створок первой совокупности в три раза, послужили основанием для выделения двух морфологических групп. Наличие этих совокупностей, возможно, свидетельствует о ярко выраженной сезонности, характерной для времени формирования диатомита. Сходная ситуация отмечена для мезотрофного оз. Красное, расположенного в центральной части Карельского перешейка [Многолетние..., 2008]. Многолетние исследования динамики численности популяций структурообразующих видов водорослей в озере показали доминирование разных видов *Aulacoseira* в альгологических сообществах различных сезонов. Так, *A. granulata* (Ehr.) Sim. преобладает в летне-осеннее время с максимальной численностью в июле-августе, а *A. islandica* (O. Müll.) Naworth — в весеннее и осеннее с резким увеличением численности в середине или конце мая.

Менее однородным является Пузановский диатомит. Общий коэффициент вариации морфометрических характеристик створок породообразующих таксонов для него равен 78.45. В сообществах из отложений доминируют представители двух центральных родов, имеющие большие различия диаметра створок от минимального — 1.9 мкм у *Aulacoseira subarctica* до максимального — 61.9 мкм у *S. niagarae* var. *pusanovae*. Необходимо отметить, что для створок каждого из таксонов изменчивость морфометрических показателей невысокая ( $C_v$  высоты створки 11.68, диаметра 26.75 у *A. subarctica*,  $C_v$  диаметра 18.02 у *S. niagarae* var. *pusanovae*). Большой диапазон значений отношения высоты к диаметру створки *A. subarctica* (1.55—7.10), скорее всего, свидетельствует о достаточно продолжительном вегетативном периоде и благоприятных условиях для обитания этого вида в водоеме.

Самым неоднородным по гранулометрическим характеристикам является Сергеевский диатомит — общий  $C_v$  створок = 169.3. Группу доминирующих таксонов образуют как мелкостворчатые *S. construens* var. *venter* и *A. italica* (минимальный размер 2.96 мкм, максимальный 23.22 мкм), так и крупностворчатые представители рода *Cymbella* до 175 мкм в длину. Значительная вариабельность створок установлена и для каждого отдельно взятого таксона, так коэффициент вариации длины 38.2 и ширины 10.9 определен для *S. construens* var. *venter*, диаметра 33.3 и высоты загиба 17.5 для *A. italica* и длины 14.9 для представителей *Cymbella*. Высокое видовое богатство доминирующей группы, очевидно, является свидетельством относительной мелководности водоема и его неустойчивого гидрологического режима.

Новым перспективным, но пока еще не до конца разработанным направлением в диатомовом анализе является изучение элементного состава панцирей диатомей с помощью СЭМ с рентгеновскими спектрометрами разного типа [Лосева, Филиппов, 2012]. Этот метод может быть использован как для определения условий осадконакопления, так и возраста отложений.

Известно, что панцирь диатомовых водорослей состоит из гидрата оксида кремния, подобного опалу ( $\text{SiO}_2 + x\text{H}_2\text{O}$ , плотность 2.07 г/см<sup>3</sup>), с примесью металлов (алюминия, железа, магния) и органического компонента [Водоросли..., 1989]. У ископаемых диатомей протеин теряется, а кремний со временем все более и более кристаллизуется [Диатомовые..., 1974]. Наиболее постоянными компонентами в составе панцирей диатомей является Al и K, также нередко встречается Fe и Ca. Заметным компонентом может быть Mg. Другие элементы (Ti, S, Cl, Na) встречаются гораздо реже. Не исключено, что наличие отдельных элементов связано с последующим загрязнением створок диатомей [Лосева, Филиппо-

ва, 2012]. Хотя, зарубежные ученые [Hamilton et al., 1997], изучавшие очищенные панцири, считают, что такие элементы, как Fe, Cu и Al, являются важными химическими компонентами в кремнистой структуре створок.

В створках породообразующих таксонов всех трех изученных диатомитов основными элементами являются кремний и кислород, хотя их содержание у разных видов различно. Вместе с тем соотношение концентраций этих элементов позволяет сделать некоторые выводы об экологических обстановках, в которых могли обитать диатомеи, образующие кремнистые породы. Так, большие значения кислорода и относительно невысокие содержания кремния в створках из Пузановского диатомита, вероятно, свидетельствуют о том, что породообразующие таксоны развивались в планктонных сообществах глубокого водоема. Незначительное окремнение створок позволяло диатомеям парить в толще воды. Довольно высокое содержание кремния в створках Тереховского диатомита, наоборот, может говорить о том, что основным местообитанием диатомей являлись донные экотопы в неглубоком водоеме. Существование мелководных озер в долине р. Раздольная, где был вскрыт изученный диатомит, подтверждается также другими данными [Павлюткин, Петренко, 2010].

Нами был выявлен широкий спектр примесей в изученных диатомитах. Наибольшее количество их в относительно повышенных концентрациях встречено в створках Тереховского диатомита (Al, K, Fe, Ca, Ti, Na, W, Cu, Br и Mg). Из них Al, Fe, Ca, W, Cu и Br являются постоянными примесями для створок во всех изученных диатомитах. Такое разнообразие элементов-примесей, скорее всего, связано с вулканической деятельностью вблизи водоемов, в которых формировались диатомиты. Вместе с тем высказывается точка зрения, согласно которой наличие примесей может быть обусловлено способностью геля кремнезема к адсорбции катионов [Gilian, Caade, 2000].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили всесторонне охарактеризовать диатомиты из трех местонахождений Дальнего Востока, сформировавшиеся в пресных озерах разного типа. Озерный генезис отложений подтверждается присутствием (в двух диатомитах даже доминированием) представителей рода *Aulacoseira*. Участие диатомей этого рода также позволило уточнить возраст отложений. Так, для самого древнего — Тереховского диатомита плиоценового возраста характерно практически монодоминантное палеосообщество, образованное таксонами рода *Aulacoseira* морфогруппы «прае» (93.2 %). Для этого времени вообще присуще широкое распространение диатомей этого морфотипа: в оз. Байкал [Кузьмин и др., 2009], озерах Приморского края [Лихачева и др., 2009]. Видимо, это связано с определенным эволюционным этапом в истории развития этого рода. Установлено, что в плиоцене происходит постепенное вымирание древних таксонов *Aulacoseira* из группы «прае», а со среднего плейстоцена, уже появляются виды, существующие до настоящего времени [Кузьмин и др., 2009].

Возраст Сергеевского диатомита геологами датируется как верхний миоцен—плиоцен, но присутствие в нем створок современного вида *A. italica* позволяет предположить, что отложения сформировались в позднем плиоцене (согласно новой шкале четвертичной системы—раннем плейстоцене).

На основе детального диатомового анализа кремнистых отложений нами были установлены следующие основные характеристики изученных диатомитов.

Тереховский диатомит, сформировавшийся в небольшом маломинерализованном водоеме, отличается самой высокой концентрацией створок на 1 г породы, однородным таксономическим составом, который определяет и наиболее однородные гранулометрические характеристики отложений. Порода более чем на 90 % составляют створки одного вида, хотя детальное исследование позволило выделить две морфологические совокупности: с низким загибом, большим диаметром и высоким загибом и небольшим диаметром, в объеме которых, вариабельность створок низкая. Створки из диатомита отличаются высоким содержанием кремния и большим количеством элементов-примесей.

Для Пузановского диатомита, сформировавшегося в глубоком пресном озере, характерно высокое содержание створок и самый разнообразный таксономический состав. По гранулометрическим показателям он является менее однородным, чем Тереховский. Диапазон изменчивости диаметров двух доминирующих таксонов, относящихся к разным родам, довольно велик, но их принадлежность к одному классу (центрических диатомей) позволяет отнести эти породы к высококачественным с широкими возможностями их использования. Створки окремнены незначительно, количество элементов-примесей является распространенным для всех диатомей.

В Сергеевском диатомите, сформированном в мелководном эвтрофном водоеме, концентрация створок самая низкая, а вариабельность размеров створок высокая. Это, а также малая мощность отложений снижают возможности широкого применения этого диатомита.

Авторы благодарны С.В. Коваленко и Б.И. Павлюткину за предоставленный материал и плодотворное обсуждение вопросов, затрагиваемых в статье.

Работа выполнена при поддержке Президиума ДВО РАН (гранты 12-I-П28-01, 12-II-СО-08-024).

## ЛИТЕРАТУРА

- Белоусов А.Б.** Эксплозивные извержения вулканов Курило-Камчатского региона: механизм, динамика, закономерности образования отложений: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. М., Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2006, 46 с.
- Векшина В.П.** Среднемиоценовый комплекс диатомей Курильских островов // Ископаемые диатомовые водоросли СССР. М., Наука, 1968, с. 37—41.
- Водоросли:** справочник // Под ред. С.П. Вассер. Киев, Наук. думка, 1989, 608 с.
- Генкал С.И.** *Aulacoseira italica*, *A. valida*, *A. subarctica* и *A. volgensis* sp. nov. (Bacillariophyta) в водоемах России // Бот. журн., 1999, т. 84, № 5, с. 40—46.
- Генкал С.И., Черепанова М.В.** Новая разновидность *Stephanodiscus niagarae* (Bacillariophyta) из озерного диатомита острова Кунашир (Курильские острова) // Новости систематики низших растений, 2009, т. 43, с. 23—35.
- Головенкина Н.И.** Определение качества диатомитов некоторых месторождений Армянской ССР на основе изучения флоры диатомовых водорослей // Диатомовые водоросли. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1981, с. 117—128.
- Давыдова Н.Н.** Диатомовые водоросли — индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л., Наука, 1985, 243 с.
- Демидов И.Н., Шелехова Т.С.** Диатомиты Карелии (особенности формирования, распространения, перспективы использования). Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 2006, 89 с.
- Диатомовые водоросли СССР** / Под ред. А.И. Прошкина-Лавренко. Л., Наука, 1974, т. 1, 403 с.
- Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные)** / Под ред. З.И. Глезер, И.В. Макарова. СПб., Наука, 1992, т. 2, вып. 2, 125 с.
- Жузе А.П.** Диатомовые водоросли в отложениях четвертичного периода // Материалы по четвертичному периоду СССР, 1952, вып. 3, с. 99—112.
- Жузе А.П.** Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. М., Изд-во АН СССР, 1962, 258 с.
- Коваленко С.В.** Строение и структура неогеновых отложений бассейнов рек Партизанская и Лазовка // Кайнозой Дальнего Востока. Владивосток, ДВО АН СССР, 1989, с. 64—77.
- Козыренко Т.Ф., Шешукова-Порецкая В.С.** Материалы к изучению диатомовых водорослей неогена южных Курильских о-вов // Вестн. ЛГУ, 1967, т. 21, № 4, с. 38—104.
- Кузьмин М.И., Хурсевич Г.К., Прокопенко А.А., Феденя С.А., Кабанов Е.Б.** Центрические диатомовые водоросли позднего кайнозоя озера Байкал. Новосибирск, Акад. изд-во «Гео», 2009, 374 с.
- Левина О.В., Бычинский В.А., Пройдакова О.А., Астаханцева О.Ю., Павлова Л.А.** Химический состав и термодинамические свойства створок диатомовых применительно к процессам осаждения—растворения биогенного кремнезема в озере Байкал // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (1—2), с. 319—328.
- Лихачева О.Ю., Пушкарь В.С., Черепанова М.В., Павлюткин Б.И.** Зональная диатомовая шкала и основные геобиологические события неогена Приморья // Вестник ДВО РАН, 2009, № 4, с. 64—72.
- Лосева Э.И.** Прекрасные невидимки. Екатеринбург, Изд-во УрО РАН, 2002, 146 с.
- Лосева Э.И., Филиппов В.В.** Элементный состав панцирей диатомовых водорослей. Сыктывкар, Изд-во Геопринт, 2012, 56 с.
- Минюк П.С., Новачек Н., Глушкова О.Ю., Смирнов В.Н., Брайхем-Гретте Дж., Меллес М., Черепанова М.В., Ложкин А.В., Андерсон П.М.** Палеоклиматические данные озера Эльгыгытгын, Северо-Восток России (комплексные исследования) // Процессы постседиментационного намагничивания и характерные изменения магнитного поля и климата Земли в прошлом. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 2003, с. 91—135.
- Многолетние изменения биологических сообществ мезотрофного озера в условиях климатических флуктуаций и эвтрофирования** // Под ред. И.С. Трифонова. СПб., Лема, 2008, 246 с.
- Моисеева А.И.** Атлас неогеновых диатомовых водорослей Приморского края // Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Л., 1971, т. 171, 152 с.
- Моисеева А.И.** Расчленение континентальных отложений неогена Дальнего Востока по диатомеям // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1995, т. 3, № 5, с. 92—103.
- Опал-кристаллитовые породы. Минеральное сырье. Справочник** / Ред. У.Г. Дистанов. М., ЗАО Геоинформмарк, 1998, 28 с.
- Павлюткин Б.И.** Геология и условия формирования кайнозойских отложений континентального юга Дальнего Востока: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. Владивосток, ДВГИ ДВО РАН, 2008, 48 с.

**Павлюткин Б.И., Боровский А.Д.** Причины и время перестройки системы реки Раздольной (Южное Приморье) // Прибрежная зона Дальневосточных морей в плейстоцене. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 1988, с. 72—76.

**Павлюткин Б.И., Петренко Т.И.** Стратиграфия палеоген-неогеновых отложений Приморья. Владивосток, Дальнаука, 2010, 164 с.

**Павлюткин Б.И., Ганзей С.С., Пушкарь В.С., Петренко Т.И.** Палеоботаническая характеристика и радиометрическое датирование неогеновых отложений Южного Приморья // Стратиграфия и геологическая корреляция, 1993, т. 1, № 6, с. 40—47.

**Павлюткин Б.И., Пушкарь В.С., Черепанова М.В., Петренко Т.И.** Проблемы стратиграфии миоцена Приханкайской впадины (Дальний Восток России) // Тихоокеанская геология, 2004, т. 23, № 4, с. 73—85.

**Пушкарь В.С., Черепанова М.В.** Диатомеи плиоцена и антропогена Северной Пацифики. Владивосток, Дальнаука, 2001, 222 с.

**Тюльнин В.А., Ткач В.Р., Эйрих В.И., Стародубцев Н.П.** Волластонит: уникальное минеральное сырье многоцелевого назначения. М., Издательский дом «Руды и металлы», 2003, 144 с.

**Черепанова М.В., Гребенникова Т.А.** Флора Bacillariophyta из озерных диатомитов острова Кунашир (Курильские острова) // Бот. журн., 2001, т. 86, № 2, с. 26—38.

**Черепанова М.В., Авраменко А.С., Андерсон П.М., Ложкин А.В., Минюк П.С., Пушкарь В.С.** Диатомовые водоросли оз. Эликчан (Северное Приохотье) и их значение для реконструкции развития экосистемы озера за последние 70 тыс. лет // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2013, № 1, с. 3—15.

**Усольцева М.В.** Морфологическая вариабельность вида *Aulacoseira granulata* (Bacillariophyta) из водоемов Сибири и Дальнего Востока // Актуальные проблемы современной альгологии. Тезисы докладов III Международной конференции. Харьков, Изд-во Харьков. нац. ун-та им. В.Н. Каразина, 2005, с. 166—167.

**Фанерозойские** осадочные палеобассейны России: проблемы эволюции и минерализации неметаллов // Под ред. Н.В. Милитенко, А.Н. Лабутина. М., Изд-во ЗАО «Геоинформмарк», 2000, 400 с.

**Ярусова С.Б., Черепанова М.В., Гордиенко П.С., Пушкарь В.С.** Синтез волластонита из природного диоксида кремния и техногенных отходов // Экология и промышленность России, 2012, № 2, с. 24—27.

**Barker P., Fontes J.-C., Gasse F., Druart J.-C.** Experimental dissolution of diatom silica in concentrated salt solutions and implications for paleoenvironmental reconstruction // Limnol. Ocean., 1994, v. 39, p. 99—110.

**Crawford S.A., Higgins M.J., Mulvaney P., Wetherbee R.** Nanostructure of the diatom frustule as revealed by atomic force and scanning electron microscopy // J. Phycol., 2001, № 37, p. 543—554.

**Cummins A.B.** Development of diatomite filter aid filtration // Filtr. Sep., 1973, № 10 (2), p. 215—219.

**Dove P.M.** Kinetic and thermodynamic controls on silica reactivity in weathering environments // Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals, 1995, v. 31, p. 235—290.

**Flynn P.T.** Nutritional benefits of spent filter cake in agricultural applications // Adv. Filtr. Sep. Technol., 2003, v. 16, p. 585—593.

**Fustinoni S., Campo L., Colosio C., Birindelli S., Foa V.** Application of gas chromatography-mass spectrometry for the determination of urinary ethylenethiourea in humans // J. Chromatogr. B Biomed., 2005, Appl. 814, № 2, p. 251—258.

**Gibson C.E., Anderson N.J., Haworth E.Y.** *Aulacoseira subarctica*: taxonomy, physiology, ecology and palaeoecology // Eur. J. Phycol., 2003, № 38, p. 83—101.

**Gilian D.C., Caade G.C.** Iron-encrusted diatoms and bacteria epibiotic on *Hydrobia ulvae* (Gastropoda: Prosobranchia) // J. Sea Res., 2000, v. 43, p. 83—91.

**Haluska M.S., Dragomir-Cernatescu I., Sandhage K.H., Snyder R.L.** X-ray diffraction analysis of 3-D MgO diatom replicas synthesized by low-temperature gas/solid displacement reaction // Powder Diffraction, 2005, v. 20, № 4, p. 306—310.

**Hamilton P.B., Poulin M., Yang J.** A new diatom genus, *Porannulus* (Bacillariophyta), associated with marina species sponges around King Georg Island, South Shetland island, Antarctica // Diatom. Res., 1997, v. 12, p. 229—242.

**Krammer K., Lange-Bertalot H.** Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Stuttgart, New York, Gustav Fischer Verlag, 1991, 576 p.

**Laing T.E., Pienitz R., Smol J.P.** Freshwater diatom assemblages from 23 lakes located near Norilsk, Siberia: a comparison with assemblages from other circumpolar regions // Diatom. Res., 1999, v. 14, p. 285—305.

**Obanijesu E.O., Bello O.O., Osinowo F.A.O., Macaulay S.R.A.** Development of a packed-bed reactor for the recovery of metals from industrial wastewaters // *Int. J. Environ. Pollut.*, 2004, v. 22, № 6, p. 701—709

**Pickett-Heaps J.D., Schmid A.M., Edgar L.A.** The cell biology of diatom valve formation // *Prog. Phycol. Res.*, 1990, v. 7, p. 1—168.

**Pienitz R., Smoll J.P.** Diatom assemblages and their relationship to environmental variables in lakes from the boreal forest-tundra ecotone near Yellowknife, Northwest Territories, Canada // *Hydrobiologia*, 1993, v. 269/270, p. 391—404.

**Ryves D.B., Juggins S., Fritz S.C., Battarbee R.W.** Experimental diatom dissolution and the Quantification of microfossil preservation in sediments // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2001, v. 172, № 1—2, p. 99—113.

**Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G.** The diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge, England, Cambridge University Press, 1990, 758 p.

**Sandhage K.H., Dickerson M.B., Huseman P.M., Caranna M.A., Clifton J.D., Bull T.A., Heibel T.J., Overton W.R., Schoenwaelder M.E.A.** Novel, bioclastic route to self-assembled, 3-D, chemically tailored meso/nanostructures: shape-preserving reactive conversion of biosilica (diatom) microshells // *Adv. Mater.* 2002, v. 14, № 6, p. 429—433.

**Tanaka H.** *Stephanodiscus komoroensis* sp. nov., a new Pleistocene diatom from Central Japan // *Diatom. Res.*, 2000, v. 15, № 1, p. 149—157.

**Tanaka H., Nagumo T.** *Stephanodiscus miyagiensis* sp. nov. from Pleistocene sediment in northeastern Japan // *Diatom. Res.*, 2006, v. 21, № 26, p. 371—378.

**Unocic R.R., Zalar F.M., Sarosi P.M., Cai Y., Sandhage K.H.** Anatase assemblies from algae: coupling biological self-assembly of 3-D nanoparticle structures with synthetic reaction chemistry // *Chem. Commun.* 2004, № 7, p. 796—797.

Рекомендована к печати 11 июня 2014 г.  
М.И. Кузьминым

Поступила в редакцию  
5 декабря 2013 г.