

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗОНАЛЬНОЙ ДИАТОМОВОЙ ШКАЛЫ НЕОГЕНА ПРИМОРЬЯ (РОССИЯ)

В.С. Пушкарь¹, А.С. Авраменко², М.В. Черепанова², О.Ю. Лихачева¹

¹ФБГУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр. 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022; e-mail: pushkar@fegi.ru

²ФБГУН Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, пр. 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022; e-mail: avramenko@biosoil.ru; cherepanova@biosoil.ru

Поступила в редакцию 28 марта 2024 г.

Комплексное изучение диатомовых водорослей из ряда неогеновых стратотипических разрезов Южного Приморья (синеутесовская и новокачалинская свиты, шуфанский горизонт) с применением методов световой и сканирующей электронной микроскопии позволило внести коррективы в существующую зональную диатомовую шкалу неогена Приморья. Исследования показали отсутствие в отложениях некоторых видов-индексов, использованных ранее для наименования зон: *Alveolophora bifaria*, *A. jouseana*, *A. areolata*. Соответствующие подразделения шкалы получили новые названия: зона *Alveolophora hachiyuensis*-*Aulacoseira elliptica*, зона *Alveolophora khankaica*, зона *Alveolophora khursevichiae*. Изменено положение зон для шуфанского горизонта: зона *Aulacoseira praeislandica* стала соответствовать нижнему плиоцену, а зона *Alveolophora tscheremissinovaе* – верхнему плиоцену. Учитывая изменения Международной стратиграфической схемы кайнозоя, возраст верхней границы зоны *Alveolophora tscheremissinovaе* был определен на уровне 2.58 млн лет.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, биостратиграфия, зональные шкалы, неоген, Южное Приморье.

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей региональных стратиграфических схем является создание надежного стратиграфического каркаса для проведения геолого-съёмочных и геолого-разведочных работ, расчленения и сопоставления разрезов, прогнозных проектирований и количественной оценки ресурсов полезных ископаемых.

Вопросы разработки зональных стратиграфических шкал, принципы их построения, критерии выделения подразделений разного уровня, обоснования их границ обсуждались и обсуждаются довольно широко [4–6, 10, 21, 27]. Попытки создания таких шкал для неогеновых континентальных отложений Приморья предпринимались неоднократно. Впервые, в 1985 г. В.С. Пушкарём и А.М. Коротким [19] была предложена шкала для миоцен-плиоценового интервала с тремя диатомовыми лонами. На основе этого опыта и полученных новых данных по эволюционному развитию диатомей в неогене Приморья и прилегающих территорий были предложены другие варианты зональной шкалы по диатомеям [9, 13, 47], зоны которых были

соотнесены с Унифицированной схемой миоцена и плиоцена Приморья [22]. Однако дальнейшие исследования диатомей этого возраста, новые взгляды на систематику Bacillariophyta, а также изменения в парадигме Международной стратиграфической схемы кайнозоя [32] привели и к новым представлениям о руководящих организмах, используемых для биостратиграфических построений: их эволюции, реакции на изменения среды обитания. Помимо этого появились и новые данные о датировании неогеновых толщ Приморья [46]. Отсюда целью настоящего исследования явилось повторное ревизионное исследование диатомовых флор миоцена-плиоцена в некоторых стратотипических и опорных разрезах с применением новейших методов электронной сканирующей микроскопии и усовершенствование на этой основе зональной диатомовой шкалы неогена Приморья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для настоящего исследования послужили вновь отобранные и имеющиеся в коллекциях образцы из стратотипических разрезов миоцен-

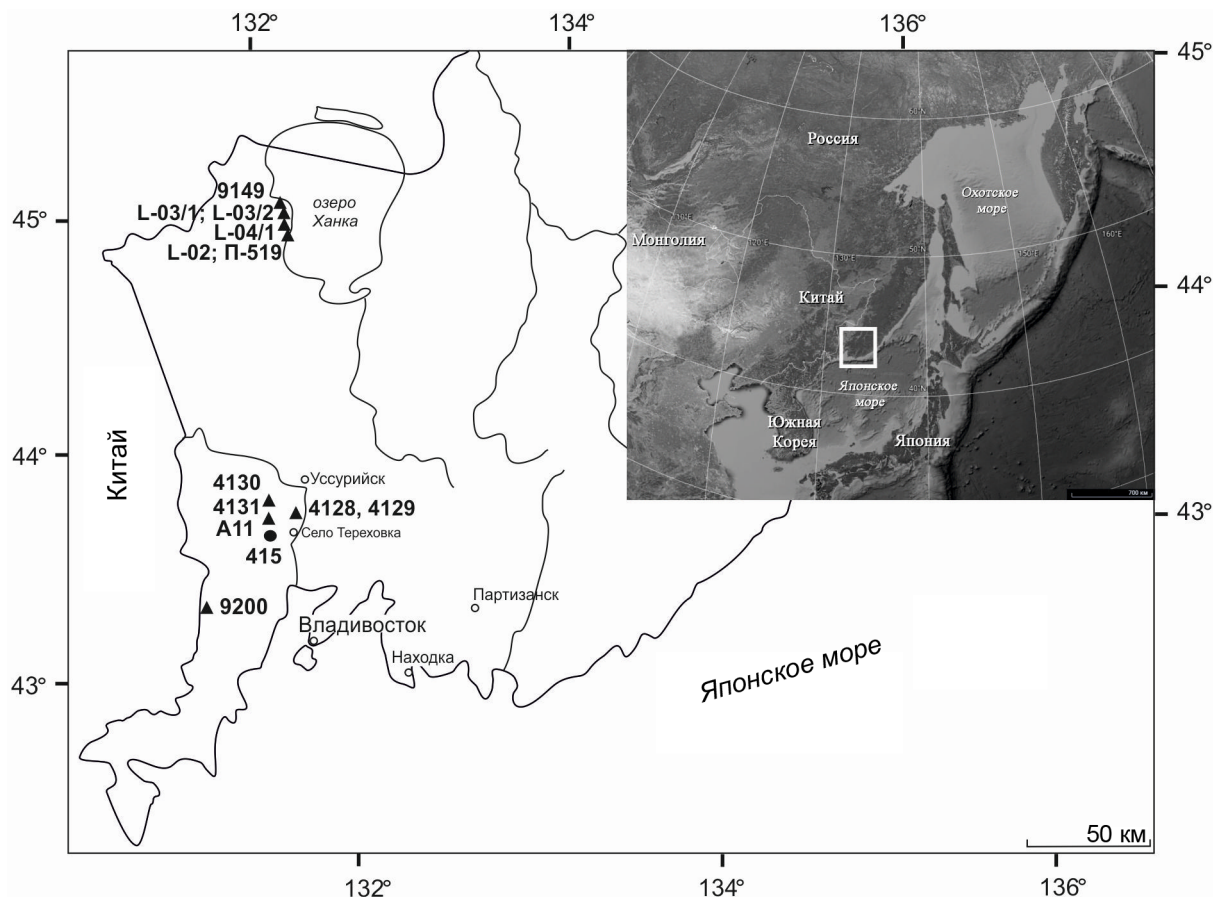


Рис. 1. Расположение изученных разрезов (чёрные треугольники) и скважин (чёрные круги).

плиоценовых отложений Южного Приморья (рис. 1, табл.).

1) В т. 9200 вблизи г. Синий Утес (Хасанский район, Юго-Западное Приморье) из туфоалевролитов нижней толщи синеутесовской свиты (мощность 20 м) было изучено два образца (9200/55 и 9200-3/3), любезно предоставленных авторам Б.И. Павлюткиным и И.Ю. Чекрыжовым (ДВГИ ДВО РАН) в 2023 г. Возраст свиты – ранний миоцен [18]. Результат U-Pb датирования цирконов (LA ICP-MS) одного из слоев вулканических пеплов, переслаивающих угольные пласты бассейна Синий Утес, показал возраст в диапазоне 18–25 млн лет [46].

2) Повторно были исследованы образцы из туфодиадомитов новокачалинской свиты, отобранные В.С. Пушкарём и О.Ю. Лихачевой в Ханкайском районе, между населенными пунктами Новокачалинск и Турий Рог (разрезы L-03/1, L-03/2, L-04/1 и L-02) во время полевых исследований в 2008–2011 гг. [9, 43]. Впервые были изучены диатомеи в образце из разреза П-519, предоставленные авторам В.К. Поповым (ДВГИ ДВО РАН). Общая предполагаемая мощность

свиты – ~200 м, изученных прослоев туфодиадомитов – от 4 до 19 м. Отложения содержат отпечатки листьев, облиственные побеги, фруктификации, споры и пыльцу. Среднемиоценовый возраст свиты (15.97–11.63 млн лет) установлен радиоизотопными методами [14], он согласуется с результатами, полученным по микро-, макроостаткам [18] и диатомеям [9].

3) Повторно были изучены образцы из тереховского диатомита, отобранные ранее В.С. Пушкарём из карьера в районе с. Тереховка (Надеждинский район) в разрезе 4131, скважине 415, у западной окраины с. Красный Яр в разрезах 4128 и 4129, вскрывших отложения шуфанского горизонта, слагающие аллювиальную террасу реки Палеораздольная [18]. Также были исследованы пять новых образцов, отобранных А.С. Авраменко и М.В. Черепановой из этих отложений (т. А11) в 2022 г. Мощность прослоя диатомита составляет 4 м. Диатомит слабо сцементирован, белый, со слегка желтоватым оттенком. Возраст диатомита плиоценовый [9, 17, 18].

Техническая обработка образцов осуществлялась по общепринятой методике с применением пере-

Таблица. Стратотипические неогеновые разрезы Южного Приморья.

Общая стратиграфическая шкала				Стратиграфическое подразделение	Расположение разреза, исследованные образцы	Тип и описание разреза
система	отдел	подотдел	ярус			
НЕОГЕНОВАЯ	ПЛИОЦЕН	верхний	Пьяченцкий	Шуфанский горизонт	В районе с. Тереховка (Надеждинский район), скв. 415 (43° 20' 25" с.ш. и 131° 52' 59" в.д.), разрезы №№ 4131 (43°20' с.ш. и 131°52' в.д.), 4128 и 4129 (43° 41' 40" с.ш. и 131° 54' 54" в.д.), А11 (43,65440°с.ш., 131,87580° в.д.)	Опорный разрез описан Б.И. Павлюткиным [18]
		нижний	Занклийский			
	МИОЦЕН	верхний	Мессинский	Усть-суйфунская свита	Автодорога Раздольное–Краскино, г. Клепачная (Надеждинский район), разрез № 4001 (43°32'00" с.ш., 131°53'50" в.д.); в районе с. Тереховка, № 4130 (43°38'25" с.ш., 131°54'50" в.д.)	Гипостратотип описан Б.И. Павлюткиным [18]
			Тортонский			
		средний	Серравальский	Новокачалинская свита	Западный берег оз. Ханка, между населенными пунктами Турий Рог и Новокачалинск (Ханкайский район), разрезы №№ 9149, L-03/2 (45°09'14,3" с.ш.; 132°00'23,3" в.д.), L-04/1 (45°09'11,8" с.ш.; 132°00'126,00" в.д.), L-02 (45°01'00,0" с.ш.; 132°00'25,1" в.д.) П-519 (45°08'25,14" с.ш.; 132°01'15.32" в.д.)	Голостратотип описан Б.И. Павлюткиным [18]
			Лангийский			
		нижний	Бурдигальский	Нежинская толща	3 км к северу от с. Нежино (Надеждинский район), разрез № 9180 (43°29' с.ш., 131°47' в.д.)	Опорный разрез описан Б.И. Павлюткиным [18]
			Аквитанский	Синеутесовская свита	Окрестности г. Синий Утес, бассейн ручья Дозорный (в верховьях левого притока р. Нарва) (Хасанский район), № 9200 (43°07' с.ш., 131°14' в.д.)	Гипостратотип описан Б.И. Павлюткиным [18]

киси водорода [5]. Изучение диатомей проводилось в световом микроскопе (СМ) Axioskop 40 Carl Zeiss на покровном стекле 18×18 мм при увеличении ×1 000 с иммерсионной жидкостью. С целью поиска видов-индексов, используемых для зональной диатомовой шкалы, нами проводилось детальное исследование диатомей с помощью сканирующих электронных микроскопов (СЭМ) Carl Zeiss EVO 40 и Merlin при увеличении до ×50 000 в Центре коллективного пользования «Биотехнология и генетическая инженерия» Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН).

Постоянные препараты хранятся в коллекциях диатомовых водорослей лабораторий палеоботаники ФНЦ Биоразнообразия и палеоэкологии кайнозоя

Дальневосточного геологического института ДВО РАН (ДВГИ ДВО РАН), г. Владивосток.

В работе использована систематика диатомовых водорослей согласно Algaebase [33, 35]. Для выяснения экологических характеристик таксонов использованы публикации: С.С. Бариновой и др. [2], К. Крамера и Х. Ланге-Берталота [40] и некоторые другие, ссылки на которые даны по тексту.

Категории зон определены в соответствии со Стратиграфическим кодексом России [23].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Неоген был важным переломным периодом в эволюции континентальных планктонных диатомей [30, 42], когда были зафиксированы такие важные события, как инвазия морских видов рода *Actinocy-*

clus Ehrenberg в озерные системы умеренного пояса и замещение уже неморских таксонов *Actinocyclus* родами семейства Stephanodiscaceae Glezer et Makarova вблизи границы среднего/позднего миоцена [34]. В группе первопоселенцев в пресных водоемах рассматривается и род *Alveolophora* [53], что делает его интересным с точки зрения понимания происхождения, расселения и последующей эволюции семейства Aulacoseiraceae. С позиций же биостратиграфии эти эволюционные события важны для создания и детализации региональных шкал, являющихся основой для определения и уточнения возраста отложений. В этой связи комплексное исследование диатомовых флор миоцена-плиоцена в некоторых стратотипических разрезах с применением новейших методов электронной микроскопии позволяет осуществить как таксономическую ревизию зональных комплексов, так и поиск видов-индексов, необходимых для усовершенствования зональной диатомовой шкалы неогена Приморья.

В настоящей работе представляются результаты изучения диатомей из стратиграфически важных разрезов, возраст отложений которых в некоторых случаях является дискуссионным и обновляется в связи с применением новых хронологических методов. Помимо этого изменения в систематике диатомовых водорослей, которые в последнее время в связи с широким использованием в исследованиях электронной микроскопии имеют лавинообразный характер, также накладывают свой отпечаток и требуют изменений, прежде всего, в названиях подразделений. Ниже приводится описание новых, претерпевших изменения биозон.

Зона *Alveolophora hachiyaensis*-*Aulacoseira elliptica* (голостратотип синеутесовской свиты, начало раннего миоцена)

Категория: акмезона

Определение: верхняя граница зоны определяется по вымиранию видов-индексов *Alveolophora hachiyaensis* (Tanaka) Houk, Klee et Tanaka и *Aulacoseira elliptica* Tsoy.

Время: нижняя часть зоны датирована 22.0 ± 1.0 млн лет, верхняя – 20.9 млн лет [18, 46]. Зона соответствует аквитанскому ярусу (23.03–20.44 млн л.н.).

Автор(ы): В.С. Пушкарь, А.С. Авраменко, М.В. Черепанова, О.Ю. Лихачева.

Дополнительные маркеры: ярко выраженное доминирование видов-индексов с овальными створками, а также их кольцевые колонии.

Характерный комплекс зоны (рис. 2) образован доминантами: *Alveolophora hachiyaensis*, *Aulacoseira praeislandica* (Jousé) Simonsen + f. *curvata* (Jousé)

Moisseeva, *A. elliptica* Tsoy; сопутствующими таксонами: *Actinocyclus gorbunovii* (Sheshukova-Poretskaya) Moisseeva et Sheshukova-Poretskaya, *Aulacoseira canadensis* (Hustedt) Simonsen, *Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützing, *Ellerbeckia teres* (Brun) Crawford, *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve et Möller, *S. construens* Ehrenberg, *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) Williams et Round, *Tetracyclus ellipticus* (Ehrenberg) Grunow, *T. lacustris* var. *elongatus* Hust. и другие представители этого рода.

Обсуждение: А.И. Моисеева, предложившая, по сути, первую по группе диатомовых водорослей зональную шкалу для континентальных отложений неогенового возраста Дальнего Востока [13], использовала *Alveolophora bifaria* Nevretdinova et Moisseeva в качестве вида-индекса слоя с биномиальным названием – слой с *Aulacoseira canadensis*, *Alveolophora bifaria*, выделенного из самой нижней части шестаковской толщи ильдикиляхского горизонта (Пенжинская губа, Северное Приохотье) и соответствующего самому раннему миоцену. Этот слой коррелируется данным автором со слоем с *Aulacoseira canadensis* из самой нижней части кизинской свиты Северо-Восточного Сихотэ-Алиня в районе бухты Аукан (Хабаровский край). Предлагаемая зона по своим возрастным границам является полным аналогом зоны *Miosira bifaria*, предложенной О.Ю. Лихачевой с соавторами [9].

Название зоны изменено в связи с тем, что *Alveolophora bifaria* достоверно выявлена пока только в нижней части (самый ранний миоцен) шестаковской толщи вблизи Пенжинской губы [11, 56]. Существуют сведения о ее находках в миоценовых отложениях возв. Ямато в Японском море [52] и в синеутесовской свите [9], но ни в одной из перечисленных публикаций нет данных об изучении обнаруженных створок с помощью СЭМ. Повторное исследование раннемиоценовых диатомей из Южного Приморья показало отсутствие этого таксона в отложениях, поэтому считаем, что возникла необходимость переименования зоны, так как прежний вид-индекс – *A. bifaria* – не имеет широкого распространения, что не соответствует требованиям Стратиграфического кодекса [23] к выбору видов-индексов биостратиграфических региональных подразделений.

В то же время *A. hachiyaensis* и *A. elliptica* встречаются не только в синеутесовской свите, но и в разновозрастных континентальных отложениях на возв. Ямато [26, 54] и плато Уллын [51] в Японском море, а также в отложениях формации Хачия (префектура Гифу) в Японии [48]. Похоже, активное развитие овальных аулакозир можно считать стратиграфическим признаком раннемиоценовых отложений в ре-

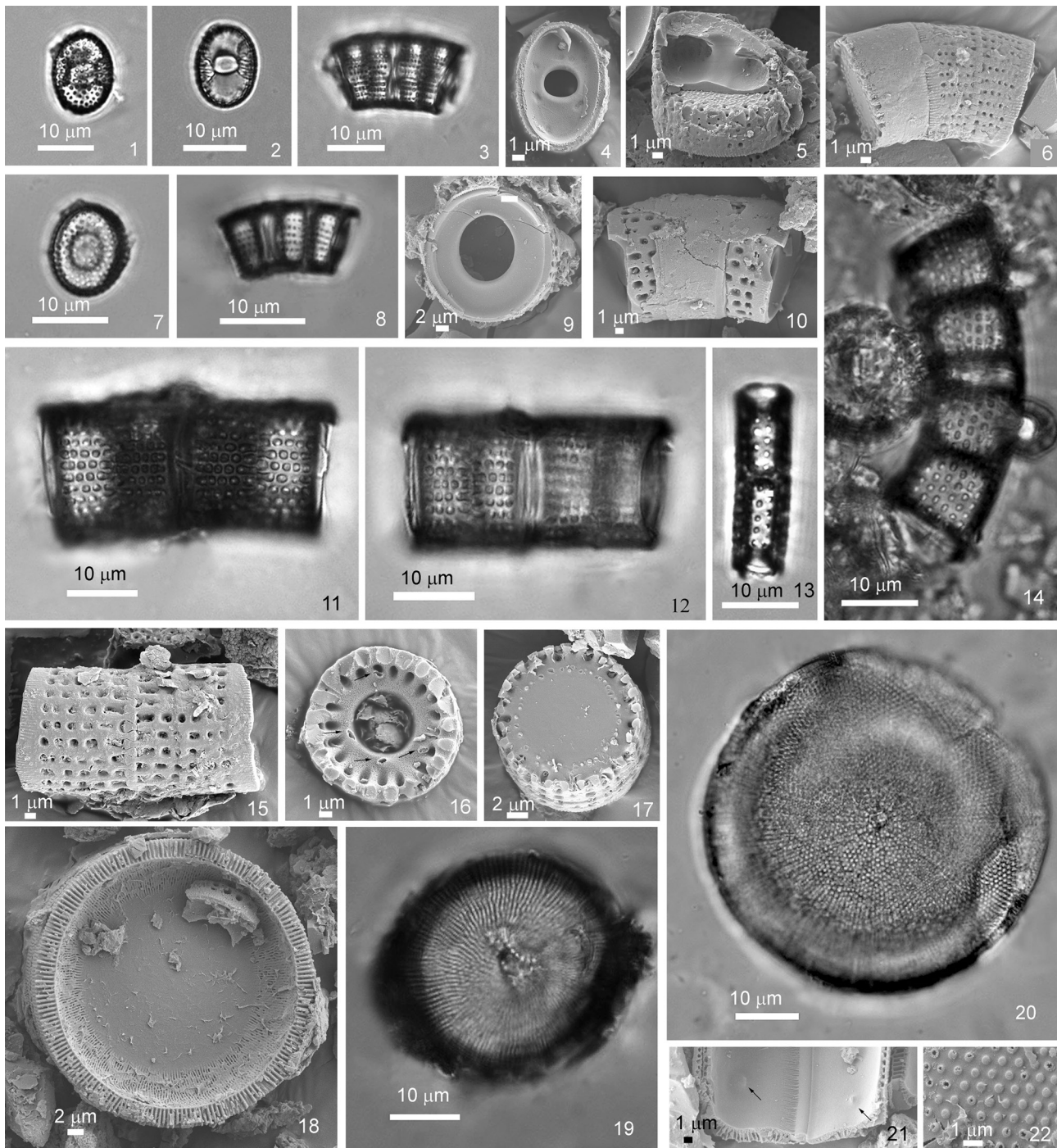


Рис. 2. Диатомовый комплекс синеутесовской свиты.

1–6 – *Alveolophora hachiyaensis* (Tanaka) Houk, Klee et Tanaka; 7–10 – *Aulacoseira elliptica* Tsoy; 11, 12, 14–17 – *Aulacoseira praeislandica* (Jousé) Simonsen (16 – внутренняя поверхность загиба створки с двугубыми выростами (стрелки, здесь и далее)); 13 – *Aulacoseira canadensis* (Hustedt) Simonsen, 18, 19, 21 – *Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützing (21 – внутренняя поверхность створки); 20, 22 – *Actinocyclus gorbunovii* (Sheshukova-Poretskaya) Moisseeva et Sheshukova-Poretskaya (22 – фрагмент створки с ареолами). 1–3, 7, 8, 11–14, 19, 20 – СМ; 4–6, 9, 10, 15–17, 21, 22 – СЭМ.

гионе. Так, в 2011 г. из одновозрастных отложений формации Шичику в префектуре Фукусима (Япония) был описан новый вид *Aulacoseira iwakiensis* Tanaka, Nagumo [49]. Миоценовые пресноводные овалы диатомей были обнаружены ранее на подводной возвышенности Ямато в Японском море [25, 28, 31], в Северной Корее [37], штате Орегон, США [58], Японии [45]. В более молодых отложениях на тихоокеанском побережье представителей рода *Aulacoseira* с овальными створками пока не встречено. Описанный в 2022 г. новый вид *Aulacoseira capitalina* Titova, Hassan, Usoltseva с подобными створками был впервые обнаружен в среднемиоценовых отложениях Баргузинской впадины в Забайкалье [50], но только в одном керне 532.

Зона *Alveolophora khankaica* (нижняя часть голостратотипа новокачалинской свиты, конец раннего миоцена–первая половина среднего миоцена).

Категория: интервал-зона

Определение: верхняя граница определяется по вымиранию вида-индекса и появлению *Alveolophora khursevichiae* Usoltseva, Pushkar et Likhacheva, а нижняя обозначается исчезновением вида-индекса предыдущей зоны – *Actinocyclus lobatus* Rubina et Khursevich – и ряда овалых видов рода *Aulacoseira*, характерных для раннего миоцена [26, 48, 51, 54].

Время: для комплекса получена серия датировок в интервале 18.1–14.9 млн лет [14, 15]. Зона соответствует позднему бурдигалу–раннему лангию.

Автор(ы): В.С. Пушкарь, А.С. Авраменко, М.В. Черепанова, О.Ю. Лихачева.

Дополнительные маркеры: важным стратиграфическим признаком можно считать яркое доминирование и таксономическое разнообразие рода *Aulacoseira* (6 таксонов), в том числе курватных форм, образующих кольцевые колонии, а также разнообразие, но низкое обилие сопутствующих диатомей родов *Tetracyclus*, *Eunotia*, *Achnanthes*, *Navicula*, *Pinnularia* и представителей семейства Cymbellaceae.

Характерный комплекс зоны диатомей (рис. 3) образуют планктонные и тихопланктонные таксоны рода *Aulacoseira*: *A. praegranulata* (Jousé) Simonsen + f. *curvata* (Jousé) Simonsen + var. *praeangustissima* (Jousé) Moisseeva + f. *curvata* (Jousé) Simonsen, *A. praeislandica* (Jousé) Simonsen + f. *curvata* (Jousé) Moisseeva. Встречены также *Alveolophora tscheremissinovae* Khursevich, *Ellerbeckia kochii* (Pantocsek) Moisseeva, *Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützing.

Обсуждение. Проблема сопоставления данной зоны с подразделениями биостратиграфических схем, предложенных ранее, прежде всего принадлежащих В.С. Пушкарю, А.М. Короткому [19], и А.И. Моисее-

вой [13], связана с тем, что, как отмечал Б.И. Павлюткин [18], взгляды на возраст и стратиграфическое положение новокачалинской свиты весьма разнятся. Более подробно существующие точки зрения на эту проблему он рассмотрел в своей монографии [16]. По таксономическому составу, доминирующей группе таксонов и стратиграфически важным, отражающим эволюцию диатомовой флоры Приморья видам можно сопоставить данную зону с комплексом 6 [12], характеризующим слой с *Ellerbeckia kochii*, *Achnanthes aengimatosus* схемы А.И. Моисеевой [13] и соответствующим нижней части слоя с *Fagus khankaica* [7]. Интересно отметить, что для этого же времени в Прибайкалье и Забайкалье выделяются диатомовые комплексы, одним из стратиграфически важных компонентов которых является *A. gorbunovii* [13], который был обнаружен нами в синеутесовской толще, а позднее вновь появляется в плиоценовых отложениях шуфанского горизонта.

В зональной шкале О.Ю. Лихачевой с соавторами [9] это подразделение по возрастному диапазону совпадает с зоной *Miosira jouseana*. Кстати, вид-индекс этой зоны оказался в объеме рода *Miosira* Krammer, Lange-Bertalot et Schiller в связи с перемещением в этот род некоторых видов рода *Alveolophora* Moisseeva et Nevretdinova [41]. Впоследствии более детальное изучение морфологии видов из рода *Miosira*, а также вновь обнаруженных диатомей со сходными признаками [53, 55–57] позволило вернуть некоторые из видов, в том числе *M. jouseana* (Moisseeva) Krammer, Lange-Bertalot et Schiller, вновь в род *Alveolophora*.

В результате нашего повторного изучения диатомей из нижней толщи новокачалинской свиты *A. jouseana* (Moisseeva) Moisseeva не была обнаружена в отложениях. Зато был встречен новый для рода *Alveolophora* вид, описание которого см. ниже. Это дало нам основание для переименования данного подразделения в зону *Alveolophora khankaica*.

Экологическая структура комплекса, которая образована в основном планктонными и тихопланктонными таксонами, и незначительное количественное участие диатомей различных местообитаний свидетельствуют о формировании комплекса в достаточно крупном как по площади, так и по глубине озере с выраженными экологическими зонами. Высокие концентрации створок в осадках [9] свидетельствуют о благоприятных условиях обитания диатомей. Скорее всего, комплекс формировался в оптимальную фазу миоцена, когда в Приморье установился муссонный климат, обеспечивающий появление большого количества крупных и малых озер.

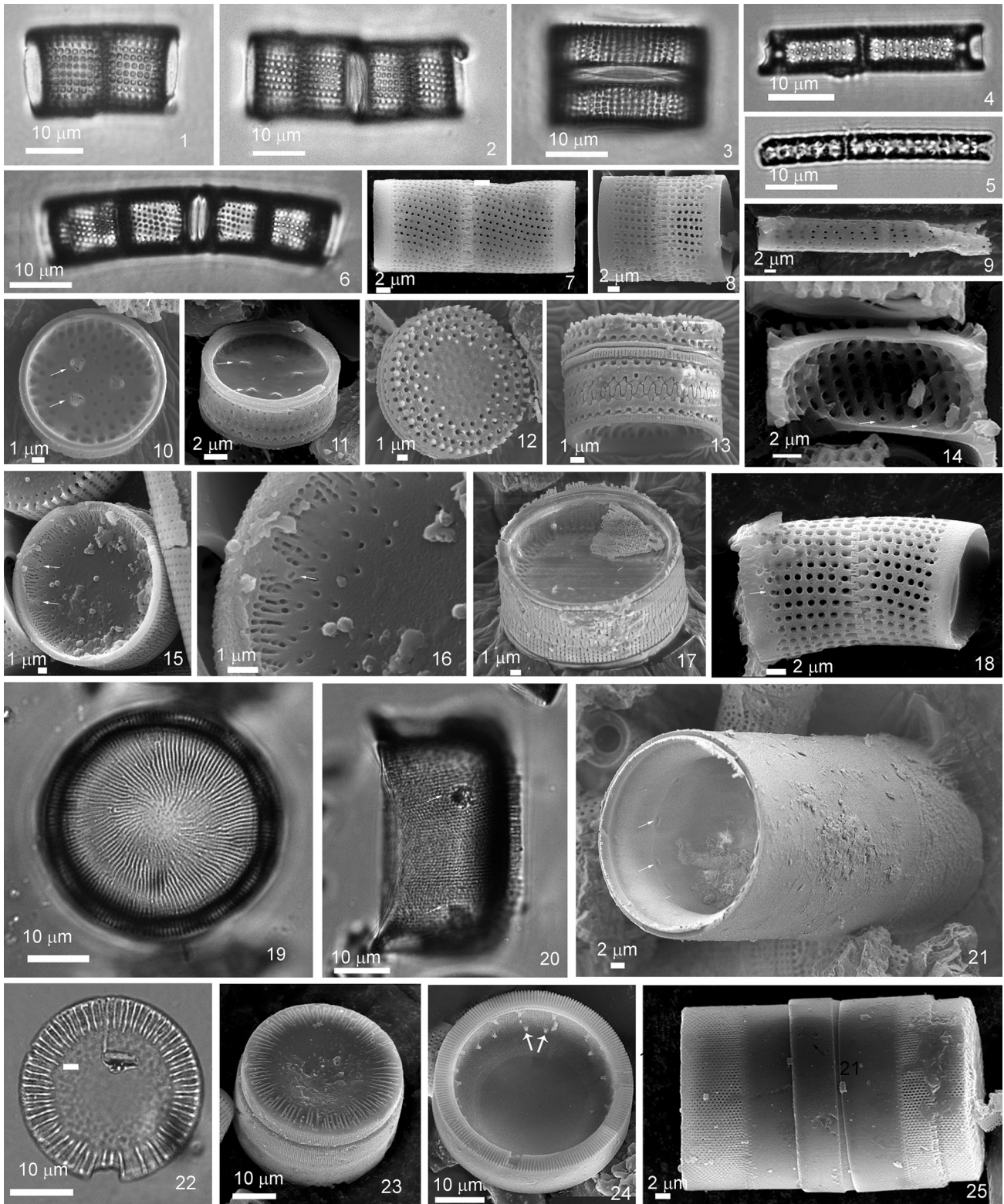


Рис. 3. Диатомовый комплекс нижней части новокачалинской свиты.

1–3, 7, 8, 14 – *Aulacoseira praeislandica* (Jousé) Simonsen (14 – внутренняя поверхность загиба створки с двугубыми выростами (стрелки)); 4 – *Aulacoseira praegr anulata* (Jousé) Simonsen; 5, 9 – *Aulacoseira praegr anulata* var. *praeangustissima* (Jousé) Moisseeva; 6, 18 – *Aulacoseira praeislandica* f. *curvata* (Jousé) Moisseeva; 10–13 – *Alveolophora tscheremissinovae* Khursevich (10–11 – внутренняя поверхность створки с двугубыми выростами (стрелки)); 15–17 – *Alveolophora khankaica* M. Cherepanova et A. Avramenko sp. nov. (15–16 – внутренняя поверхность створки с двугубыми выростами (стрелки)); 19–21 – *Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützing; 22–25 – *Ellerbeckia kochii* (Pantocsek) Moisseeva. 1–6, 19, 20, 22, 25 – СМ; 7–18, 21, 23–25 – СЭМ.

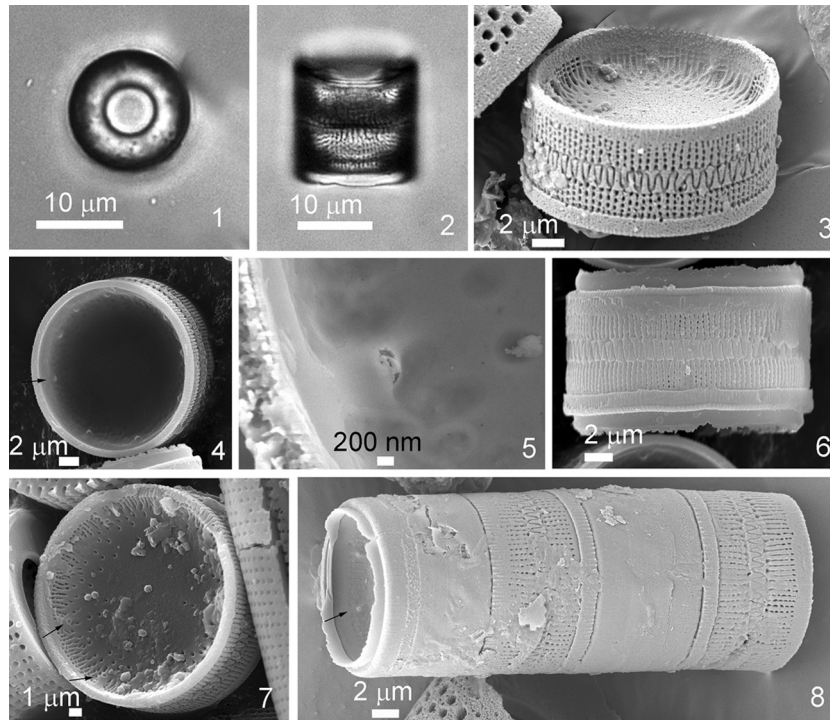


Рис. 4. Новый вид – *Alveolophora khankaica* M. Cherepanova et A. Avramenko sp. nov.

1 – вид со створки; 2, 6 – вид с пояса; 3, 4, 7 – вид внутренней поверхности створки; 5 – двугубый вырост на внутренней поверхности створки; 8 – колония, состоящая из 8 створок. 1–2 – СМ; 3–8 – СЭМ.

Относительно теплая зима могла обуславливать продолжительный вегетативный период для развития водорослей, который увеличивался за счет благоприятных температур весенне-зимне-осеннего периода [1, 29]. Высокой продуктивности диатомей могли способствовать также активные проявления вулканизма и высокие концентрации углерода в атмосферном воздухе, зафиксированные в приходящемся на это время углеродном событии Монтерей [20].

Систематическое описание

Порядок AULACOSEIRALES Crawford

Семейство Aulacoseiraceae Crawford

Род *Alveolophora* Moisseeva et Nevretdinova, 1990

Alveolophora khankaica M. Cherepanova et A. Avramenko sp. nov. (рис. 4).

Клетки соединены шипами в нитевидные колонии. Панцирь низкоцилиндрический, с поясковым ободком или без него, прямой по центральной оси. Створки толстостенные, плоские, круглые, диаметром 9.86–20.15 мкм, высотой загиба 2.79–7.12 мкм. На лицевой части створки ареолы расположены рыхло и неравномерно, центральная часть створки бесструктурная, а в прикраевой зоне ареолы в коротких радиальных рядах 14–16 в 10 мкм. В периферической зоне створки присутствуют слабо выраженные псев-

доальвеолы и псевдосепты, в центре створки бесструктурная область. Двугубые выросты (9–11) в виде коротких трубок или небольших бугорков со щелью образуют кольцо в периферической зоне створки на перегородках псевдосепт. Загиб створки состоит из мелких ареол в прямых вертикальных рядах, 26–27 рядов в 10 мкм, 18–20 ареол в 10 мкм, по одной ареоле в каждом ряду. На границе лицевой части створки и загиба присутствуют соединительные шипы лопатковидной формы (15–16 соединительных шипов в 10 мкм).

Голотип хранится в коллекции диатомовых водорослей лаборатории палеоэкологии кайнозоя ДВГИ ДВО РАН, Владивосток, препараты L-03/1, L-03/2, L-04/1.

Примечание: по характеру структуры лицевой части створки и небольшим размерам при изучении в световом микроскопе вид *A. khankaica* сходен с *A. tscheremissinovaе* [38], отличаясь при этом количеством ареол в 10 мкм на загибе створки и расположением двугубых выростов (располагаются на псевдосептах; у *A. tscheremissinovaе* – непосредственно на створке), хорошо заметных в сканирующем электронном микроскопе.

Пресноводные, планктонный вымерший вид.

Первая половина среднего миоцена: Россия, Приморский край (нижняя часть новокачалинской свиты, западный берег оз. Ханка).

Зона *Alveolophora khursevichiae* (верхняя часть голостратотипа новокачалинской свиты, вторая половина среднего миоцена).

Категория: интервал-зона

Определение: верхняя граница определяется по вымиранию вида-индекса.

Время: комплекс диатомей зоны следует датировать поздним-средним миоценом. Возраст зоны 14.9–11.8 млн лет, что соответствует концу лангия-сарравалию.

Автор(ы): В.С. Пушкар, А.С. Авраменко, М.В. Черепанова, О.Ю. Лихачева.

Дополнительные маркеры: доминирование вида *Aulacoseira praeislandica* (Jousé) Simonsen и его курватных форм, присутствие вида-индекса позднемиоценовой зоны – *Ellerbeckia kochii* (Pantocsek) Moisseeva, разнообразие вариантов вида *Tetracyclus ellipticus* (Ehrenberg) Grunow.

Комплекс диатомей (рис. 5) характеризуется доминированием *A. praeislandica* с участием курватных форм. Сопутствующими являются *Alveolophora khursevichiae* Usoltseva, Pushkar et Likhacheva, *Aulacoseira praegrnulata* var. *praeangustissima* (Jousé) Moisseeva, *M. undulata*, *E. kochii*, *Tetracyclus clypeus* (Ehrenberg) Li, *Tetracyclus ellipticus* var. *lancea* (Ehrenberg) Hustedt, *Tetracyclus ellipticus* var. *latissimus* Hustedt.

Обсуждение. Выделенная зона коррелирует с комплексом 7 [12] и слоем с *Aulacoseira praegrnulata* v. *praeislandica*, *Fragilaria miocenica* схемы А.И. Моисеевой [13] и соответствующего верхней части слоя с *Fagus khankaica*. Данная зона по возрастному диапазону соответствует зоне *Miosira areolata* биостратиграфической шкалы О.Ю. Лихачевой с соавторами [9]. Поиски вида-индекса *Miosira areolata* (Moisseeva) Khursevich, ныне входящего в объем рода *Alveolophora* Moisseeva et Nevretdinova, не увенчались успехом. Был встречен другой вид этого рода *A. khursevichiae*. Его находки и позволили произвести переименование зоны без изменения ее возрастного интервала.

Активное участие в комплексе зоны бентосных видов, особенно это касается представителей рода *Tetracyclus*, скорее всего, указывает на снижение уровня воды в водоеме. Помимо разновидностей вида *T. ellipticus*, здесь встречен *T. lacustris* var. *lanceolatus* Moisseeva, который, по мнению А.И. Моисеевой [12], является переходной формой между вымершим *T. ellipticus* и обитателем современных олиготрофных озер северо-альпийского типа *T. glans* (Ehrenberg)

Mills. Низкая палеопродуктивность диатомей [9] и, возможно, более холодолюбивые диатомеи, скорее всего, свидетельствуют о начавшемся после климатического оптимума похолодании. По-видимому, в это время происходит усиление контраста между летним и зимним муссонами за счет активизации летнего, что косвенно подтверждается и находками листовой флоры [16].

Зона *Aulacoseira praeislandica* (шуганский горизонт, нижний плиоцен)

Категория: акмезона

Определение: верхняя граница зоны проводится по резкому уменьшению морфологического разнообразия и численности вида-индекса.

Время: возраст 5.3–3.6 млн лет. Зона соответствует занклийскому ярусу.

Автор(ы): В.С. Пушкар, А.С. Авраменко, М.В. Черепанова, О.Ю. Лихачева.

Дополнительные маркеры: присутствие в зональном комплексе створок вида-индекса с высоким загибом и небольшим диаметром, а также низким загибом и большим диаметром, которые могли бы быть отнесены к уже не существующему (согласно современной систематике диатомовых водорослей) виду *Melosira praedistans* Jousé; наблюдается высокое видовое разнообразие озерных таксонов; встречены редкие створки теплолюбивой *Actinella brasiliensis* Grunow.

Комплекс диатомей (рис. 6) характеризуется доминированием *Aulacoseira praeislandica* (Jousé) Simonsen с сопутствующими таксонами: *Actinocyclus gorbunovii* (Sheshukova-Poretskaya) Moisseeva et Sheshukova-Poretskaya, *Aulacoseira canadensis* (Hustedt) Simonsen, *Fragilariforma bicapitata* (Mayer) Williams et Round, *Gomphosphenia grovei* var. *lingulata* (Hustedt) Lange-Bertalot, *Ellerbeckia teres* (Brun) Crawford ex Houk et al., *Khursevichia jentzschii* (Grunow) Kulikovskiy, Metzeltin et Lange-Bertalot, *Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützing, *Navicula radiosa* Kützing, *Placoneis amphibola* (Cleve) Cox, а также представители рода *Tetracyclus* Ralfs, отличающегося в этом комплексе высоким видовым разнообразием. Здесь встречены *Tetracyclus lacustris* var. *elongatus* Hustedt, *T. glans* (Ehrenberg) Mills и другие.

Обсуждение: зона по возрастному интервалу соответствует зоне *Miosira tscheremissinovae* шкалы О.Ю. Лихачевой и др. [9] и ранее выделенной А.И. Моисеевой [13] зоне *Actinocyclus gorbunovii*, которая на время опубликования схемы имела позднемиоценовый возраст. В настоящее время отложения разреза вблизи с. Тереховка, из которого были изучены диатомеи А.И. Моисеевой и повторно исследованы

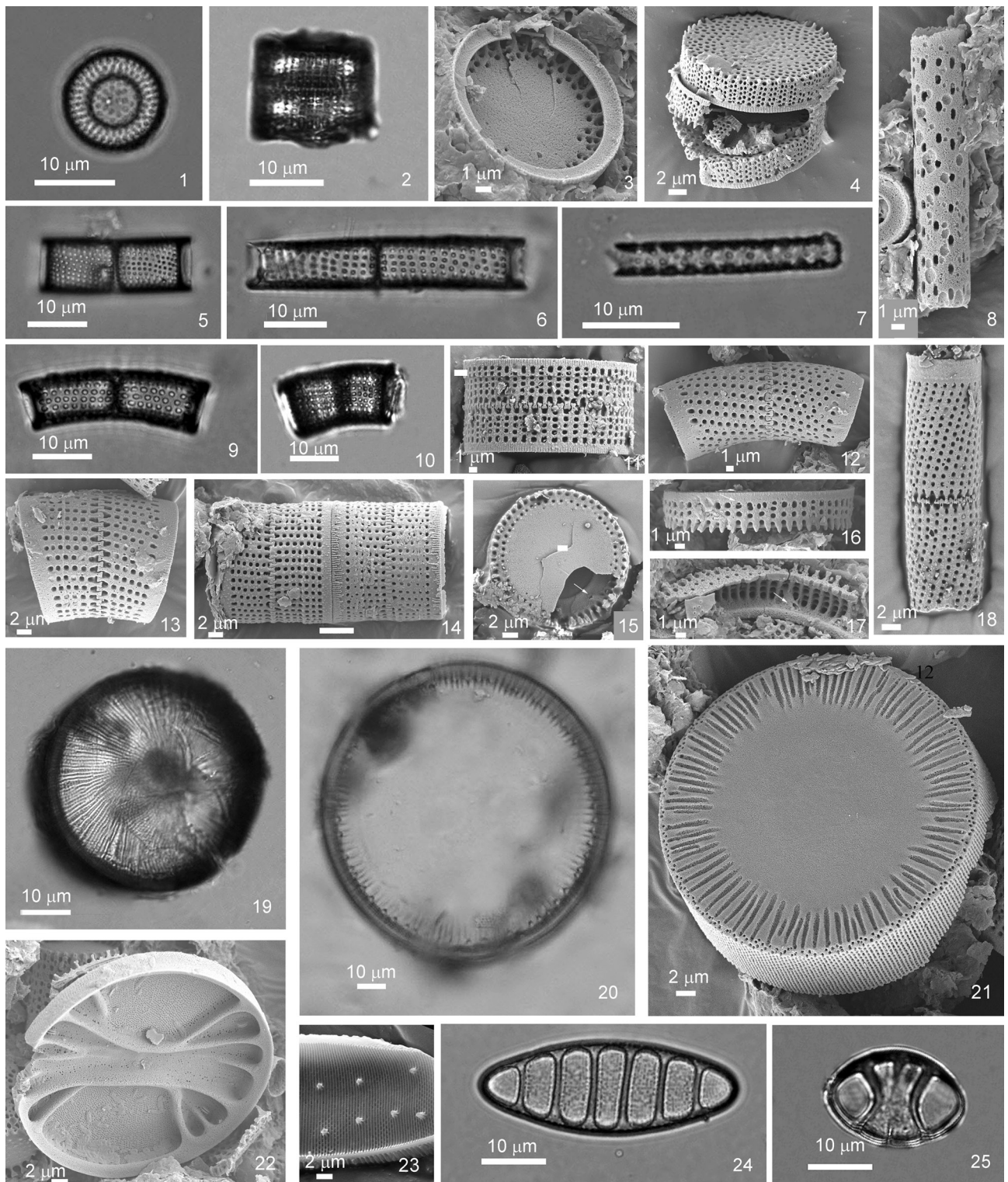


Рис. 5. Диатомовый комплекс верхней части новокачалинской свиты.

1–4 – *Alveolophora khursevichiae* Usoltseva, Pushkar et Likhacheva; 5, 11, 14–17 – *Aulacoseira praeislandica* (Jousé) Simonsen (15, 17 – внутренняя поверхность загиба створки с двугубыми выростами (стрелки)); 6, 18 – *Aulacoseira praegranulata* (Jousé) Simonsen; 7, 8 – *Aulacoseira praegranulata* var. *praeangustissima* (Jousé) Moisseeva; 9–10, 12–13 – *Aulacoseira praeislandica* f. *curvata* (Jousé) Moisseeva; 19 – *Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützing; 20–21, 23 – *Ellerbeckia kochii* (Pantocsek) Moisseeva (23 – внутренняя поверхность загиба с многогранными трубковидными выростами); 22 – *Tetracyclus clypeus* (Ehrenberg) Li; 24 – *Tetracyclus ellipticus* var. *lancea* (Ehrenberg) Hustedt, 25 – *Tetracyclus ellipticus* var. *latissimus* Hustedt. 1, 2, 5–10, 19, 20, 24, 25 – CM; 3, 4, 8, 11–18, 21–23 – СЭМ.

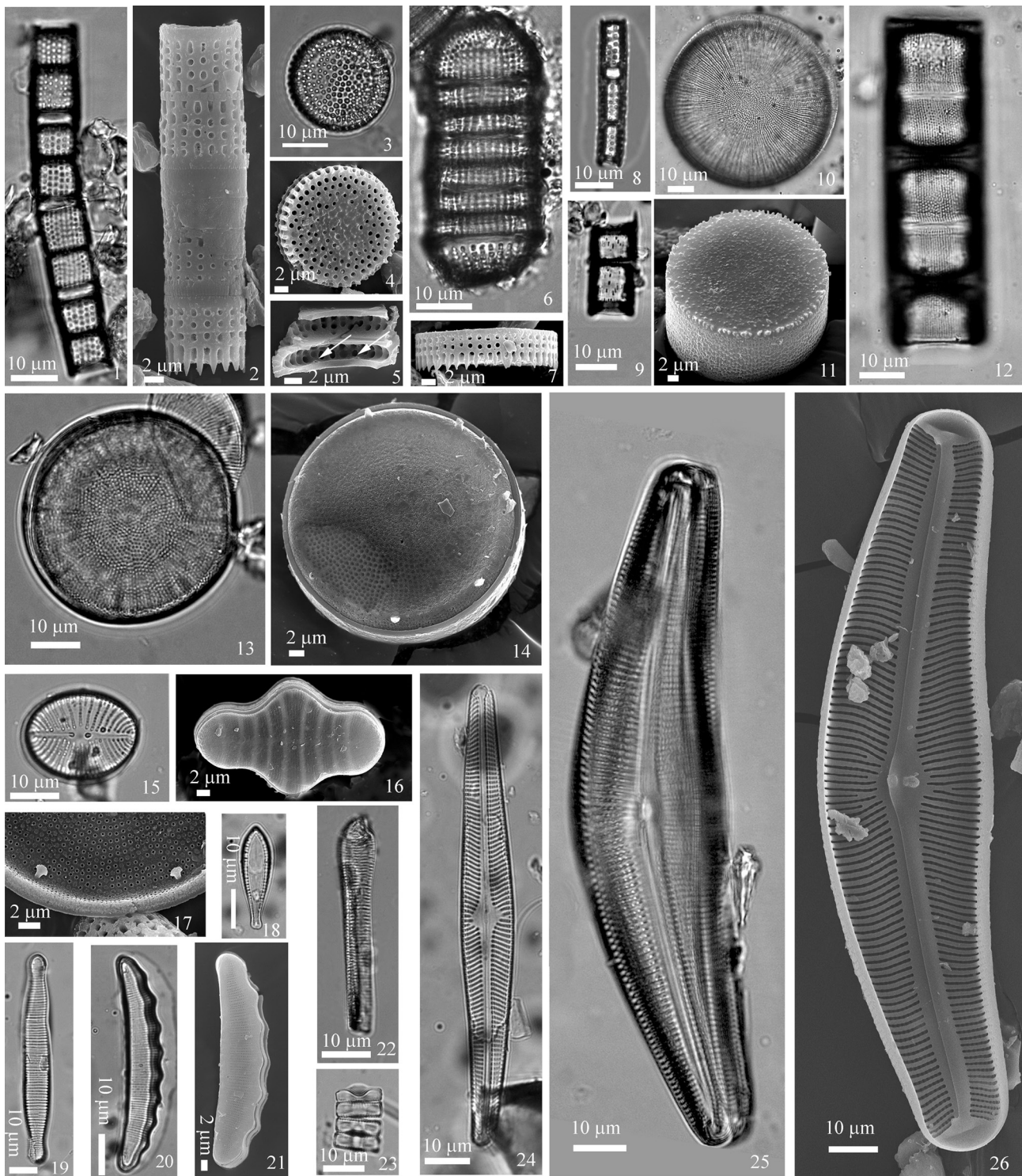


Рис. 6. Диатомовый комплекс нижней части шуфанского горизонта.

1–7 – *Aulacoseira praeislandica* (Jousé) Simonsen; 8 – *Aulacoseira praegrnulata* (Jousé) Simonsen; 9 – *Aulacoseira italica* (Ehrenberg) Simonsen; 10–12 – *Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützing; 13–14, 17 – *Actinocyclus gorbunovii* (Sheshukova-Poretskaya) Moisseeva et Sheshukova-Poretskaya (17 – часть внутренней створки с двугубыми выростами (стрелки)); 15 – *Cavinula scutelloides* (Smith ex Gregory) Lange-Bertalot; 16 – *Tetracyclus glans* (Ehrenberg) Mills; 18 – *Gomphosphenia grovei* var. *lingulata* (Hustedt) Lange-Bertalot; 19 – *Fragilariforma bicapitata* (Mayer) Williams & Round; 20–21 – *Eunotia polyglyphoides* Sheshukova-Poretskaya; 22 – *Actinella brasiliensis* Grunow; 23 – *Stausosira venter* (Ehrenberg) Cleve et J.D.Möller; 24 – *Navicula radiosa* Kützing; 25–26 – *Cymbella australica* Grunow. 1, 3, 6, 8–10, 12, 13, 15, 18–20, 22–25 – СМ; 2, 4, 5, 7, 11, 14, 15, 17, 19, 25 – СЭМ.

дованы нами, имеют плиоценовый возраст. Довольно редкое присутствие в комплексе зоны вида-индекса, использованного О.Ю. Лихачевой с соавторами [9] в названии подразделения, дало основание к переименованию зоны. Также стоит отметить, что в настоящее время данный таксон вошел в объем восстановленного рода *Alveolophora* Moisseeva et Nevretdinova 1990 [56]. Высокое таксономическое разнообразие, присутствие обитателей разных зон озера (профундаль, сублитораль, литораль и т.д.) позволяют говорить о формировании комплекса в достаточно крупном водоеме с множеством биотопов во время потепления плиоцена, когда уровень моря и температуры были выше современных [36]. Необходимо отметить, что подобные одновозрастные комплексы с доминированием таксонов рода *Aulacoseira* Thwaites и разнообразием рода *Tetracyclus* Ralfs отмечались как в водоемах Дальнего Востока, так и Сибири [13]. Отличительной особенностью плиоценовой диатомовой флоры Сибири и крайнего Северо-Востока России было участие в них представителей рода *Stephanodiscus* Ehrenberg [13]. По мнению Т. Хаяши и др. [34], роды семейства Stephanodiscaceae заменили род *Actinocyclus* Ehrenberg, важный компонент озерного фитопланктона в период раннего и среднего миоцена, и эти изменения были подтверждены во многих регионах мира. Именно рубеж среднего/позднего миоцена считается авторами началом формирования современных комплексов неморских планктонных диатомей умеренного пояса. Согласно нашим данным, представители рода *Stephanodiscus* отсутствуют в плиоценовой диатомовой флоре Приморья, а виды рода *Actinocyclus* продолжают существовать в ней, по крайней мере, до конца раннего плиоцена. По результатам изучения позднекайнозойских диатомей оз. Байкал установлено, что появление быстроисчезающих мелких видов *Stephanodiscus* происходит лишь в плиоцене [39], а их устойчивое присутствие во флоре отмечается с 1.25 млн лет назад [8].

Зона *Alveolophora tscheremissinovaе* (шуфанский горизонт, верхний плиоцен).

Категория: интервал-зона

Определение: верхняя граница соответствует уровню вымирания вида-индекса.

Время: возраст 3.6–2.58 млн лет. Подразделение соответствует пьаченскому ярусу.

Автор(ы): В.С. Пушкарь, А.С. Авраменко, М.В. Черепанова, О.Ю. Лихачева.

Дополнительные маркеры: высокое морфологическое разнообразие *Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützing, участие в доминирующей группе *Tetracyclus ellipticus* (Ehrenberg) Grunow.

Комплекс диатомей (рис. 7), отражающий эволюционный этап в развитии диатомей, представлен доминирующими *Alveolophora tscheremissinovaе* Khursevich, *A. praeislandica*, *E. teres*, *M. undulata*, *T. ellipticus* и сопутствующими *Cymbella australica* (A.W.F.Schmidt) Cleve, *Eunotia polyglyphoides* Sheshukova-Poretskaya, *Gomphonema subclavatum* (Grunow) Grunow, *Orthoseira* sp., *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg.

Обсуждение: зона по возрастному диапазону соответствует стратиграфическому подразделению зона *Aulacoseira praegrnulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica* шкалы, предложенной О.Ю. Лихачевой с соавторами [9, 47]. Преобладание в комплексе *A. tscheremissinovaе* позволило переименовать данную зону. Также в соответствии с принятой в настоящее время Международной стратиграфической схемой кайнозоя [32], в которой рубеж неогена/плейстоцена принят на уровне 2.58 млн лет назад, изменен возраст верхней границы зоны – 2.58 млн лет, соответственно.

Таксоны, образующие доминирующую группу комплекса, приуроченные к водоемам с небольшими глубинами, а также болотным биотопам, могут свидетельствовать о снижении уровня воды в водоеме в связи с похолоданием [44]. Ранее вид-индекс также был обнаружен в среднемиоценовых и плиоценовых отложениях новокачалинской свиты (Приморье) и средне- и позднемиоценовых комплексах Тункинской котловины (Прибайкалье), где его численность отмечалась как незначительная [24]. Предлагаемая зона также соответствует диатомовому комплексу с *Aulacoseira baicalensis* и видами *Stephanodiscus*, выделенному в верхней части чининской свиты (верхний плиоцен) на Витимском плоскогорье [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексное изучение диатомовых водорослей с применением методов световой и электронной микроскопии из ряда неогеновых стратотипических разрезов Южного Приморья (синеутесовская и новокачалинская свиты, шуфанский горизонт) позволило внести коррективы в существующую зональную диатомовую шкалу [9] неогена Приморья (рис. 8).

1. Описан новый для науки вид *Alveolophora khankaica* М. Черепанова et А. Авраменко sp. nov., имеющий, как показало исследование, узкий возрастной диапазон распространения, соответствующий 18.1–14.9 млн лет, что позволило использовать данный таксон в качестве вида-индекса диатомовой зоны.

2. Исследования в СЭМ показали отсутствие в отложениях некоторых видов-индексов прежней

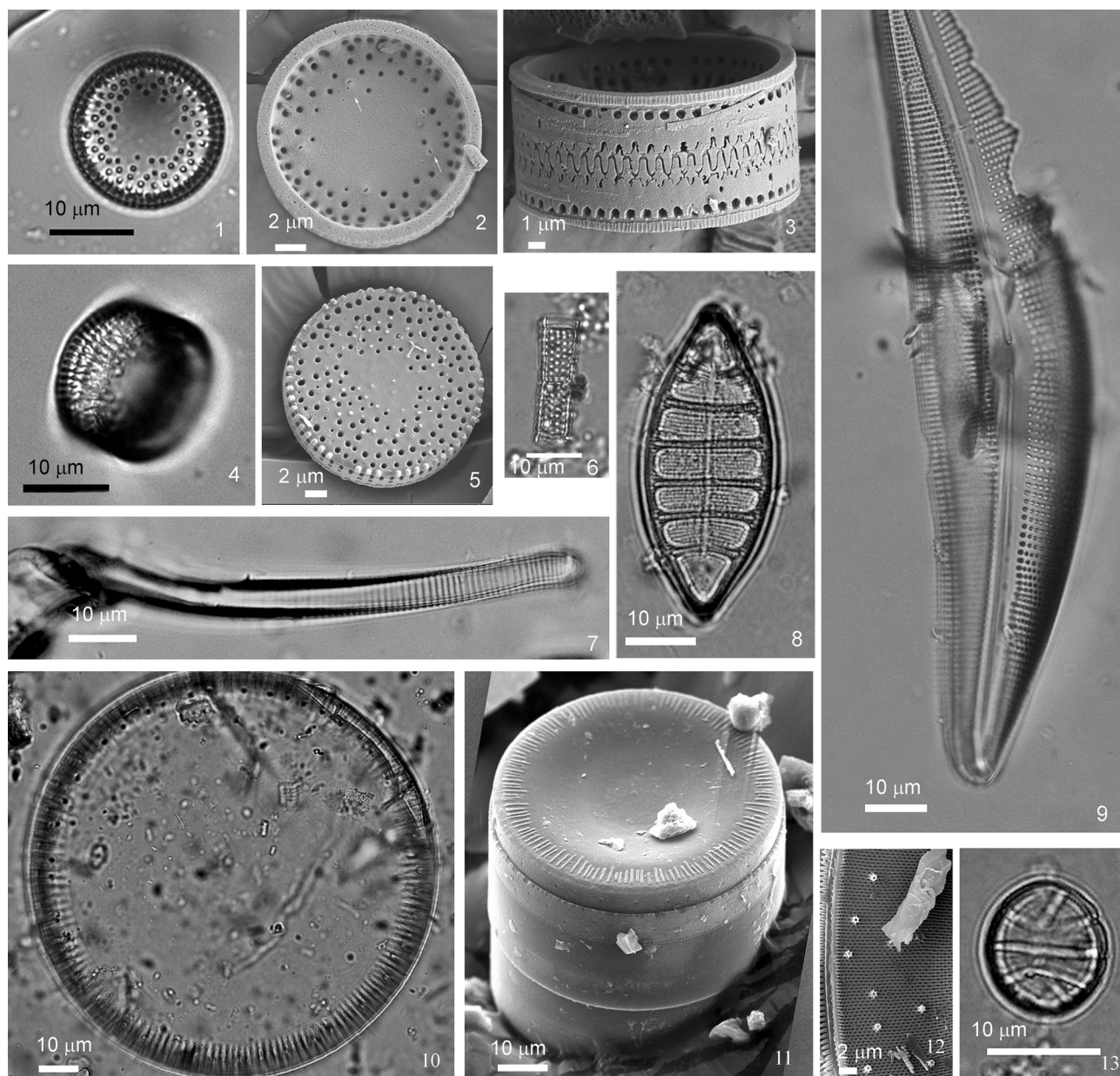


Рис. 7. Диатомовый комплекс верхней части шуфанского горизонта.

1–5 – *Alveolophora tscheremissinovae* Khursevich; 6 – *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen; 7 – *Eunotia glacialis* F. Meister; 8 – *Tetracyclus ellipticus* var. *lancea* (Ehrenberg) Hustedt; 9 – *Cymbella lanceolata* var. *grandipunctata* Moisseeva; 10–12 – *Ellerbeckia teres* (Brun) Crawford (12 – внутренняя поверхность загиба с многогранными трубковидными выростами); 13 – *Tetracyclus ellipticus* (Ehrenberg) Grunow. 1, 4, 6–10, 13 – СМ; 2, 3, 5, 11, 12 – СЭМ.

шкалы: *Miosira* (= *Alveolophora*) *bifaria*, *Miosira* (= *Alveolophora*) *jouseana*, *Miosira* (= *Alveolophora*) *areolata*, которые были заменены другими таксонами. В результате подразделения зональной диатомовой шкалы получили новые названия: зона *Miosira bifaria* – зона *Alveolophora hachiyaensis*-*Aulacoseira elliptica*; зона *Miosira jouseana* – зона *Alveolophora khankaica*; зона *Miosira areolata* – зона *Alveolophora khursevichiae*.

3. Детальные исследования диатомей шуфанского горизонта во вновь отобранном материале позволили установить особенности экологической структуры двух диатомовых комплексов, соответствующих стратиграфическим подразделениям плиоцена. Эти изменения обусловлены, прежде всего, тенденцией на похолодание климата, что выразилось в снижении морфологического разнообразия планктонных диатомей и его увеличения

Геохронологическая шкала		Европейские ярусы	Абсолютный возраст, млн л.	Региональные стратоны (свиты, горизонты)	Диатомовые зоны	Стратиграфическое распределение диатомей	
ПЛИОЦЕН							
Верхний	Пьяченцкий	Шуфанский	2.58	Шуфанский	Alveolophora tscheremissinovae		
	Нижний		Занклийский				3.600
МИОЦЕН	Верхний	Усть-суйфунская	5.333	Усть-суйфунская	Ellerbeckia kochii		
			Мессинский				7.246
	Средний	Новокачалинская	Новокачалинская	11.63	Новокачалинская	Alveolophora khursevichiae	
				Тортонский			
	Нижний	Нежинская	Нежинская	15.97	Нежинская	Actinocyclus lobatus	
				Лангйский			
Бурдигальский				20.44			
Аквитанский	Синеутесовская	Синеутесовская	23.03	Синеутесовская	Alveolophora hachiyaensis-Aulacoseira elliptica		

Рис. 8. Усовершенствованная диатомовая зональная шкала и стратиграфическое распространение видов-индексов.

у бентосных таксонов. Помимо этого были учтены и изменения в систематике диатомовых водорослей, произошедшие за последнее время. Это дало основание для переименования зон шкалы О.Ю. Лихачевой и др. [9] этого периода: зона *Aulacoseira praeislandica* стала соответствовать нижнему плиоцену, а зона *Alveolophora tscheremissinovae* – верхнему плиоцену.

4. Новые данные о возрасте синеутесовской свиты [46] подтвердили возрастной диапазон зоны *Alveolophora hachiyaensis-Aulacoseira elliptica* (ранее зона *Miosira bifaria*).

5. В соответствии с последними изменениями Международной стратиграфической схемы кайнозоя возраст верхней границы зоны *Alveolophora tscheremissinovae* стал – 2.58 млн лет.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ ФНЦ Биоразнообразия (тема № 124012200182-1) и ДВГИ ДВО РАН (тема № 122040800201-8). Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам Дальневосточного геологического института ДВО РАН д.г.-м.н. Б.И. Павлюткину и И.Ю. Чекрыжову, а также С.В. Коваленко (АО Дальневосточного ПГО Росгеология) за предоставленный материал и оказанное содействие в сборе образцов. Мы также хотим поблагодарить В.М. Казарина (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН) за помощь при работе на сканирующем электронном микроскопе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраменко А.С., Пушкар В.С. Вспышки численности диатомовых водорослей в неогеновых озерах Приморского края: причины и последствия // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2023. № 1. С. 44–55.
2. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.
3. Гладенков Ю.Б. Неогеновая система Международной стратиграфической шкалы и региональные схемы неогена России // М.А. Федонкин (отв. ред.). Общая стратиграфическая шкала России: состояние и перспективы обустройства. М.: Геологический институт РАН, 2013. С. 341–350.
4. Гладенков Ю.Б., Гладенков А.Ю. На пути к интегральной и геостратиграфической стратиграфии // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2020. Т. 28, № 1. С. 117–120.
5. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные / Ред. А.И. Прошкина-Лавренко. Т. 1. Л.: Наука, 1974.
6. Жамойда А.И. Биостратиграфическая корреляция, биостратиграфические шкалы и схемы // В.А. Прозоровский (отв. ред.). Вopr. стратиграфии, палеонтологии и палеогеографии. СПб.: НИИЗК СПбГУ, 2007. С. 43–56.
7. Красилов В.А., Алексеенко Т.М. Смена растительных сообществ в палеогене и неогене Южного Приморья // В.А. Красилова (отв. ред.). Палеоботаника на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 7–17.
8. Кузьмин М.И., Хурсевич Г.К., Прокопенко А.А., Феденя С.А., Карабанов Е.Б. Центрические диатомовые водоросли позднего кайнозоя озера Байкал: Морфология, систематика, стратиграфическое распространение, этапность развития (по материалам глубокого бурения). Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 374 с.
9. Лихачева О.Ю., Пушкар В.С., Черепанова М.В., Павлюткин Б.И. Зональная диатомовая шкала и основные геобиологические события неогена Приморья // Вестн. ДВО РАН. 2009. № 4. С. 64–72.
10. Мейен С.В. Введение в теорию стратиграфии. М.: Наука, 1989. 216 с.
11. Моисеева А.И., Невретдинова Т.Л. Новые семейство и род пресноводных водорослей (Bacillariophyta) // Бот. журнал. 1990. Т. 75, № 4. С. 539–544.
12. Моисеева А.И., Царько Е.И. Этапы развития флоры диатомовых водорослей и детальная стратиграфия континентального неогена юга Дальнего Востока // А.Г. Аблаев (отв. ред.). Новые данные по стратиграфии Дальнего Востока и Тихого океана. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. С. 68–78.
13. Моисеева А.И. Расчленение континентальных отложений неогена Дальнего Востока по диатомеям // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1995. Т. 3, № 5. С. 92–103.
14. Павлюткин Б.И., Ганзей С.С., Пушкар В.С., Петренко Т.И. Палеоботаническая характеристика и радиометрическое датирование неогеновых отложений Южного Приморья // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1993. Т. 1, № 6. С. 40–47.
15. Павлюткин Б.И., Пушкар В.С., Черепанова М.В., Петренко Т.И. Проблемы стратиграфии миоцена Приханкайской впадины (Дальний Восток России) // Тихоокеан. геология. 2004. Т. 23, № 4. С. 73–85.
16. Павлюткин Б.И. Среднемиоценовая ханкайская флора Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2005. 216 с.
17. Павлюткин Б.И. Геология и условия формирования кайнозойских отложений континентального юга Дальнего Востока. Автореф. докт. дис. Владивосток, 2008. 48 с.
18. Павлюткин Б.И., Петренко Т.И. Стратиграфия палеоген-неогеновых отложений Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2010. 164 с.
19. Пушкар В.С., Короткий А.М. Зональная биостратиграфия континентального верхнего кайнозоя Сихотэ-Алиня // Е.В. Краснов, В.С. Пушкар (ред.). Тезисы научно-практической конференции «Стратиграфия кайнозоя Дальнего Востока», Владивосток, 1995. Владивосток: РМСК Востока СССР, 1985. С. 22–23.
20. Пушкар В.С. Изменение климата острова Кунашир (Курильский архипелаг) в течение 11-9 морских изотопных стадий // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2020. № 3. С. 36–46. DOI: 10.34078/1814-0998-2020-3-36-46.
21. Раузер-Черноусова Д.М. О зонах единых и региональных шкал // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1967. Т. 7. С. 104–118.
22. Решения 4-го Межведомственного стратиграфического совещания по докембрию и фанерозою юга Дальнего Востока и Восточного Забайкалья (Хабаровск, 1990 г.). Хабаровск: ХГГТП, 1994. 124 с.
23. Стратиграфический кодекс России. Изд. третье, исправленное и дополненное. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, Межведомственный стратиграф. комитет, 2019. 96 с.
24. Стрельникова Н.И., Цой И.Б. (ред.). Диатомовые водоросли России и сопредельных стран. Ископаемые и современные. Том II, вып. 5. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2008. 171 с.
25. Цой И.Б., Вашенкова Н.Г., Горвая М.Т., Терехов Е.П. О находке континентальных отложений на возвышенности Ямато // Тихоокеан. геология. 1985. № 3. С. 50–55.
26. Цой И.Б., Шастина В.В. Кремнистый микропланктон неогена Японского моря (диатомеи и радиолярии). Владивосток: Дальнаука, 1999. 241 с.
27. Черных В.В. Стратиграфическая шкала и геологический разрез // Литосфера. 2020. Т. 20, № 1. С. 5–17. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-1-5-17
28. Akiba F., Tanimura Y., Tsoy I., Hiramatsu C. Morphology of an extinct nonmarine diatom, *Aulacoseira moisseevae* n. sp. from Japan and two other related species with elliptic valves, and their taxonomic implication // Proceedings of the 14th International Diatom Symposium, Tokyo, Japan, 2–8 September 1996. P. 1.
29. Avramenko A.S., Pushkar V.S. Conditions of Diatomites Formation in the Primorye (South of the Russian Far East) // International Journal on Algae. 2023. V. 25, N 3. P. 235–248.
30. Bradbury J.P., Krebs W.N. Fossil continental diatoms: paleolimnology, evolution, and biochronology. Siliceous microfossils // Short Courses in Paleontology. V. 8. Cambridge University Press, 1995. P. 119–138.
31. Burckle L.N., Akiba F. Implications of Late Neogene freshwater sediment in the Sea of Japan // Geology. 1978. V. 6. P. 123–127.
32. Gibbard P.L., Head M.J., Walker M.J. C. and the Subcommission on Quaternary Stratigraphy. Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma // J. Quaternary Sci. 2010. V. 25. P. 96–102.

33. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.algaebase.org> (дата обращения 04.03.2024).
34. Hayashi T., Krebs W.N., Saito-Kato M., Tanimura Y. The turnover of continental planktonic diatoms near the middle/late Miocene boundary and their Cenozoic evolution // PLoS ONE. 2018. V. 13, N 6. e0198003. DOI: 10.1371/journal.pone.0198003
35. Hoban M., Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.algaebase.org>; (дата обращения 13 March 2024).
36. Johnson M.E. Geological Oceanography of the Pliocene Warm Period: A Review with Predictions on the Future of Global Warming // J. of Marine Science and Engineering. 2021. V. 9. 1210. DOI: 10.3390/jmse9111210
37. Iwahashi Y. Freshwater Centricae in Japan (IV) // J. of Japanese botany. 1935. V. 11. P. 768–771. [In Japanese].
38. Khursevich G.K. Morphology and taxonomy of some centric diatom species from the Miocene sediments of the Dzhilinda and Tunkin Hollows // J.P. Kociolek (ed.). Proceedings of the 11th International Diatom Symposium, San Francisco, 12–17 August 1990. Memoirs of the California Academy of Sciences. 1994. V. 17. P. 269–280.
39. Khursevich G.K., Karabanov E.B., Williams D.F., Kuzmin M.I., Prokopenko A.A. Evolution of freshwater centric diatoms within the Baikal rift zone during the late Cenozoic // K. Minoura (ed.). Lake Baikal. Elsevier Science B.V., 2000. P. 146–154.
40. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae // Sußwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/3, Teil 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Stuttgart, Jena: VEB Gustav Fischer Verlag, 1991. 576 S.
41. Krammer K., Lange-Bertalot H., Schiller W. Miosira rhoenana n. gen. n. sp. (Bacillariophyceae) aus miozänen limnischen Sedimenten der Rhön im Vergleich mit andere zentrischen Diatomeen // Paläontologische Zeitschrift. 1997. Bd. 71, N 1/2. P. 5–18.
42. Krebs W.N., Bradbury J.P., Theriot E. Neogene and Quaternary lacustrine diatom biochronology, western USA // Palaios. 1987. V. 2. P. 505–513.
43. Likhacheva O.Yu., Avramenko A.S., Usoltseva M.V., Pushkar V.S. Freshwater centric diatoms from Middle Miocene deposits of the Khanka Depression, Primorye Territory (Far East of Russia) // Botanica Pacifica. 2021. V. 10, N 2. P. 3–19.
44. Lisiecki L.E., Raymo M.E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // Paleoceanography 2005. V. 20. PA1003.
45. Morita R., Titova L.V., Akiba F. Oligocene–Early Miocene molluscs and diatoms from the Kitami-Tsubetsu area, Eastern Hokkaido, Japan // Science reports of the Tohoku University, Second series, Geology. 1996. V. 63, N 2. P. 53–187.
46. Nechaev V.P., Dai S., Chekryzhov I.Yu., Tarasenko I.A., Zin'kov A.V., Moore T.A. Origin of the tuff parting and associated enrichments of Zr, REY, redox-sensitive and other elements in the Early Miocene coal of the Siniy Utyes Basin, southwestern Primorye, Russia // International J. of Coal Geology. 2022. V. 250. 103913. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2021.103913>
47. Pushkar V.S., Likhacheva O.Yu., Usoltseva M.V. Zonal Diatom Scale of the Continental Neogene in Primorye (Most Southern Territory of the Russian Far East) // International J. on Algae. 2019. V. 21, N 2. P. 163–176.
48. Tanaka H., Nagumo T. Aulacoseira hachiyaensis sp. nov., a new Early Miocene freshwater fossil diatom from the Hachiya formation, Japan // E. Likhoshway (ed.). Abstracts of the Nineteen's International Diatom Symposium, Listvyanka, Russia, 28 August–2 September, 2006. Bristol: Biopress Limited, 2008. P. 115–123.
49. Tanaka H., Nagumo T. Aulacoseira iwakiensis sp. nov., a new elliptical Aulacoseira species, from an Early Miocene sediment, Japan // Diatom. 2011. V. 27. P. 1–8.
50. Titova L.A., Hassan A.I., Usoltseva M.V. Aulacoseira capitalina sp. nov. (Bacillariophyta) from the Middle Miocene sediments of the Barguzin Valley, Baikal Rift Zone (Russia) // Acta Biologica Sibirica. 2022. V. 8. P. 571–582. DOI: 10.14258/abs.v8.e35
51. Tsoy I.B., Usoltseva M.V. Miocene freshwater diatoms from the eastern slope of the submarine Ulleung plateau (Krishtofovich Rise) in the Sea of Japan // Stratigraphy and geological correlation. 2016. V. 24, N 3. P. 276–293. DOI: 10.1134/S0869593816020064
52. Tsoy I. Early Miocene freshwater diatom flora from the Yamato Rise, the Sea of Japan // Diatom Research. 2017. V. 32, N 3. P. 277–293. DOI: 10.1080/0269249X.2017.1367726
53. Usoltseva V., Kociolek J.P., Khursevich G. Three new species of Alveolophora (Aulacoseiraceae, Bacillariophyceae) from Miocene deposits in western North America // Phycologia. 2013. V. 52. P. 109–117. DOI: 10.2216/12-022.1
54. Usoltseva M.V., Tsoy I.B. Elliptical species of the freshwater genus Aulacoseira in Miocene sediments from Yamato Rise (Sea of Japan) // Diatom Research. 2010. V. 25, N 2. P. 397–415. DOI: 10.1080/0269249X.2010.9705859
55. Usoltseva M., Likhacheva O., Pushkar V., Avramenko A. Alveolophora khursevichiae sp. nov. from the Miocene sediments of Khanka Lake (Far East) // Nowa Hedwigia. 2018. Beiheft 147. P. 27–33. DOI 10.1127/nova-suppl/2018/004
56. Usoltseva M., Titova L. Morphological variability in Alveolophora areolata (Moisseeva) Moisseeva and Alveolophora bifaria Nevretdinova & Moisseeva // Diatom Research. 2019. V. 34, N 1. P. 39–47. DOI: 10.1080/0269249X.2019.1586777
57. Usoltseva M., Titova L., Hassan A., Rasskazov S., Morozov A. Morphological Variability of Alveolophora antique from a Freshwater Early Miocene Paleolake in The Barguzin Valley (Baikal Rift Zone) // Diversity. 2022. V. 14. 1075. DOI: 10.3390/d14121075
58. Van Landingham S.L. Paleocology and microfloristics of Miocene diatomites // Nova Hedwigia. 1967. Beiheft 26. P. 1–77.

Рекомендована к печати А.И. Ханчуком,
А.В. Гребенниковым
после доработки 28.03.2024 г.
принята к печати 15.04.2024 г.

V.S. Pushkar, A.S. Avramenko, M.V. Cherepanova, O.Yu. Likhacheva

Improvement to the Zonal Diatom Scale of the Neogene in Primorye (Russia)

Comprehensive study of diatoms from some Neogene stratotype sections of southern Primorye (Sineutesovskaya and Novokachalinskaya formations, Shufansky horizon) using light and scanning electron microscopy methods allowed adjustments to be made to the Zonal Diatom Scale of the Neogene in Primorye. Studies have shown the absence of some zone index species in the sediments: *Alveolophora bifaria*, *A. jouseana*, *A. areolata*. As a result, the corresponding subdivisions of the Scale received new names: *Alveolophora hachiyaensis*-*Aulacoseira elliptica* zone, *Alveolophora khankaica* zone, *Alveolophora khursevichiae* zone. The position of the Shufansky horizon zones has changed: the *Aulacoseira praeislandica* zone now corresponds to the Early Pliocene, and the *Alveolophora tscheremissinovae* zone to the Upper Pliocene. According to the International Stratigraphic Chart of the Cenozoic, the age of the upper boundary of the *Alveolophora tscheremissinovae* zone was revised to 2.58 Ma ago.

Key words: diatoms, biostratigraphy, zonal scales, Neogene, southern Primorye.