

УДК: [561.26:551.782+551.583.78](571.63)

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В ЮЖНОМ ПРИМОРЬЕ НА ГРАНИЦЕ ПЛИОЦЕН-ПЛЕЙСТОЦЕНА КАК ВАЖНЕЙШЕГО СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО РУБЕЖА ПОЗДНЕГО КАЙНОЗОЯ

Авраменко А. С.¹ , Пушкарь В. С.² 

¹ Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
г. Владивосток

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток
E-mail: avramenko@biosoil.ru, pushkar@fegi.ru

Изучение диатомовых водорослей из плиоценовых отложений Южного Приморья позволило провести детальную реконструкцию климата региона в период усиления похолодания на границе позднего плиоцена и плейстоцена. Экологический состав диатомовой флоры зафиксировал тенденцию быстрого снижения температур и уровня водоёмов в интервале 3.6–2.58 млн л. н., а смена доминирующей аулакозейровой флоры на флору с преобладанием преимущественно бентосных таксонов (*Ellerbeckia*, *Tetracyclus*, *Alveolophora*) – переход от озёрного седиментогенеза к аллювиальному, а также эволюционное угасание древних представителей рода *Aulacoseira* и их замещение современными таксонами.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, плиоцен, плейстоцен, реконструкция климата, Приморье.

DOI: 10.34078/1814-0998-2024-3-8-18

ВВЕДЕНИЕ

Кайнозойская эра характеризовалась значительными изменениями климатической системы Земли, которые проявлялись в циклических сменах глобальных похолоданий и потеплений (Krantz, 1990; Haywood et al., 2013). Наиболее высокие темпы похолодания отмечались в позднем эоцене – начале олигоцена и сопровождались континентальным оледенением в Антарктиде. Следующий пик похолодания был зафиксирован в среднем миоцене (Zachos et al., 2001; Lewis et al., 2008). **Последнее похолодание** происходило на границе плиоцена и плейстоцена – между 2.7 и 2.5 млн л. н. – и привело к усилению оледенения Северного полушария (Wilson, 2011; McClymont et al., 2014). **И хотя эти события** во многих частях планеты довольно хорошо задокументированы, точные механизмы, ответственные за эти глобальные климатические изменения и их влияние на развитие окружающей среды, всё ещё обсуждаются, и пока приоритет отдаётся флуктуациям орбитальных параметров (Красилов, 1977; Zachos et al., 2001; Etourneau, Khelifi, 2010).

Расшифровать особенности развития биосферы помогают стратиграфические данные, служащие реальной базой для: 1) выявления развития биотических сообществ во времени и пространстве, отражающих эволюцию органического мира; 2) реконструкции на этой основе смены палеогеографических обстановок, в том числе климатических и эвстатических флуктуаций; 3) установления тенденций и этапности эволюции биосферы в целом (Красилов, 1977; Гладенков, 2004). Резкие изменения климата лежат в основе выделения важных стратиграфических рубежей и служат фундаментом для создания региональных шкал. Для прослеживания изменений, происходящих на этих рубежах, могут использоваться все доступные возможности, в том числе палеонтологические характеристики (Гладенков, 2004). Особую значимость при этом приобретают организмы, являющиеся чувствительными к изменениям внешней среды. Одними из них можно считать диатомовые водоросли, представляющие собой отличные индикаторы условий обитания, позволяющие реконструировать палеогеографическую обстановку древних геологических эпох (Лосева, 2002).

Палеогеографические флуктуации, в том числе климатическая последовательность кайнозойской эры, юга Дальнего Востока изучаются на

протяжении многих десятков лет с помощью разных методов, включая диатомовый, что позволило выделить в истории этого периода как холодные, так и теплые фазы (Красилов, 1989; Короткий и др., 1996; Лихачева и др., 2009; Павлюткин, Петренко, 2010; Пушкарь и др., 2024). Они были использованы для разработки стратиграфических региональных схем палеоген-неогена Приморья (Решения..., 1994; Павлюткин, Петренко, 2010), в том числе и зональных диатомовых шкал (Моисеева, 1995; Лихачева и др., 2009; Пушкарь и др., 2024).

Накопленные к настоящему времени сведения о событиях четвертичного периода привели к тому, что гелазский ярус, ранее входивший в плиоцен, был перенесен в плейстоцен, и граница между плиоценом и плейстоценом стала проводиться на уровне 2.58 млн л., а не 1.806 млн л., как было ранее (Гладенков, 2010; Современные..., 2011). В результате возникла насущная проблема обоснования этого рубежа для отдельных регионов нашей планеты с использованием всего комплекса доступных методов. Таким образом, существовавшие ранее представления о климате плиоцена и этапе на границе плиоцен-плейстоцена Приморья в целом требуют более тщательного анализа.

Отметим также, что на реконструкцию климатических условий плиоцена в настоящее время направлено особое внимание ещё и потому,

что, согласно прогнозу Межправительственной группы экспертов по изменению климата, современный климат Земли меняется к теплему состоянию и возможным аналогом будущего является именно климат плиоцена (Etourneau, Khelifi, 2010; Wilson, 2011). По сравнению с сегодняшним днём, в эпоху плиоцена температура поверхности была на 3–4 °C выше, уровень моря – выше на 5–40 м, концентрации CO² в атмосфере – соответствовали современным или немного выше ($\approx 400 \pm 50$ ppmv), ледяные щиты были ограничены Антарктидой (Etourneau, Khelifi, 2010). Всё это даёт основание использовать плиоценовое время в качестве модели климата будущего, а для этого необходимо изучить этот период, уделив особое внимание переходному этапу.

Целью данной работы является реконструкция условий осадконакопления во время важнейшей биосферной перестройки на границе плиоцена и плейстоцена в Приморье с помощью диатомового анализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для настоящего исследования послужили образцы, отобранные в 2008 и 2022 гг. из туфодиатомитов стратотипического разреза шуфанского горизонта в 2 км к северо-западу от с. Тереховка (рис. 1).

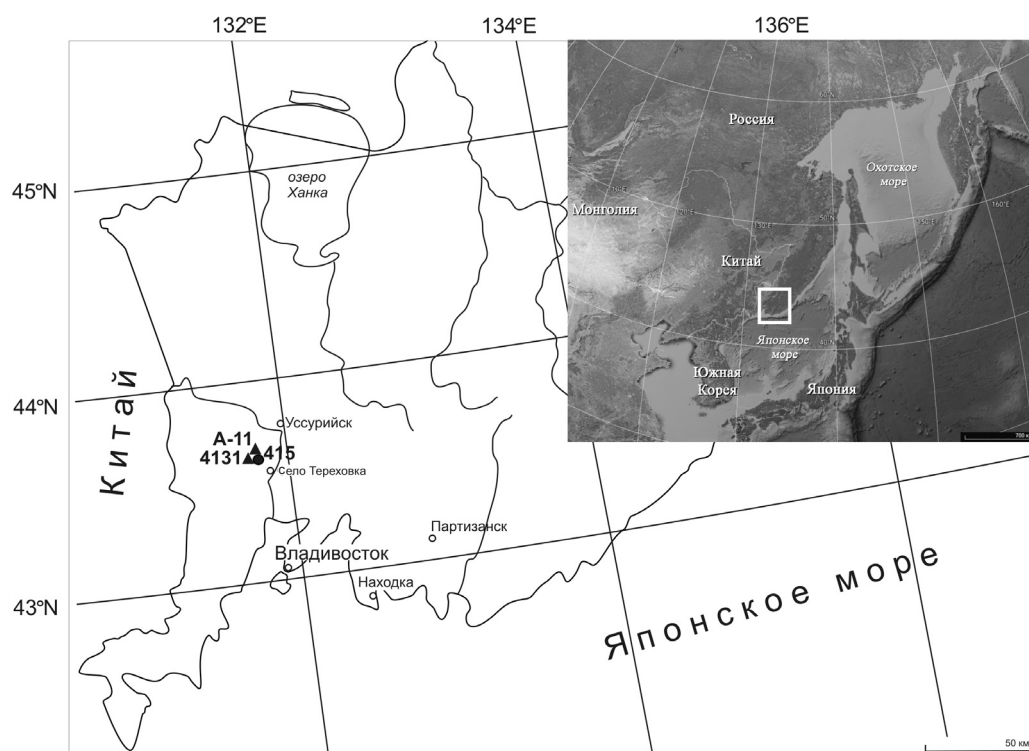


Рис. 1. Схема расположения скважины 415 (●) (Отчет..., 1982; Павлюткин, Петренко, 2010) и изученных плиоценовых разрезов Приморья (▲).

Fig. 1. Location of hole 415 (●) (Report..., 1982; Pavlyutkin, Petrenko, 2010) and studied Pliocene sections in Primorye (▲).

Стратотипический разрез шуфанского горизонта впервые был описан д. г.-м. н. Б. И. Павлюткиным (Отчет..., 1982; Павлюткин, Петренко, 2010) по данным, полученным по скважине 415 (43° 20' с. ш., 131° 52' в. д.), пройденной в 1980-х гг. при проведении геологосъемочных работ. В 2008 г. д. г. н. В. С. Пушкарёв и к. г.-м. н. О. Ю. Лихачёвой этот горизонт был опробован (13 образцов) из естественных обнажений стратотипической местности – разрез 4131 (43° 20' с. ш., 131° 52' в. д.). В 2022 г. к. г.-м. н. А. С. Авраменко и к. г.-м. н. М. В. Черепановой при проведении полевых исследований с участием главного специалиста Дальневосточного Производственно-геологического объединения «Росгеология» С. В. Коваленко были получены новые образцы (11 шт.) – разрез А-11 (43° 65' 43.0" N и 131° 87' 60.7" E), представляющий естественное обнажение.

Описание отложений стратотипического разреза горизонта, представленное Б. И. Павлюткиным в его монографии (Павлюткин, Петренко, 2010) по данным бурения скв. 415, приводится снизу вверх (в м):

1. Базальт темно-серый пористый трещиноватый 25.0
 2. Песок серый глинистый полимиктовый мелко-среднезернистый с прослоями крупнозернистого песка 12.0
 3. Глина серая пластичная с пятнами ожелезнения с тонкими прослойками коричнево-бурой глины, насыщенной лигнитизированным детритом 6.0
 4. Ритмичное чередование глины светло-серой, коричнево-серой и песка мелко-среднезернистого; в кровле – ископаемая почва 9.5
 5. Песок серый средне-мелкозернистый полимиктовый 9.5
 6. Туфодиаомит серый пластичный 6.0
 7. Песок серый мелко-среднезернистый с редкими пятнами ожелезнения 2.7
 8. Туфодиаомит серый пластичный с мелким щебнем пористых базальтов; в кровле ископаемая почва 1.8
 9. Базальт пористый пепельно-серый, слабо раскристаллизованный в зоне контакта 13.0
- Общая мощность – 85.5 м

Возраст отложений, вскрытых скважиной, установлен на основе результатов палинологического анализа как плиоценовый (Павлюткин, Петренко 2010). Данные были скоррелированы этими авторами с палеомагнитными определениями, выполненными М. А. Певзнером (Алексеев, 1978) для платобазальтов шуфанской свиты и межбазальтовых аллювиальных отложений, вскрывающихся в естественном обнажении по левому борту р. Малая Кедровка. Прямая намагниченность образцов из глинистых прослоев, согласно М. Н. Алексееву (1978), позволила отнести эти отложения к эпохе Гаусс (2.43–3.32 млн л. н.). Учитывая это, мы придерживаемся представлений о возрасте отложений, принятом

Б. И. Павлюткиным (Павлюткин, Петренко 2010; Павлюткин и др., 2024). Границы плиоцена, согласно Международной стратиграфической шкале, – 5.3–2.58 млн л. н. (Cohen et al., 2024).

Техническая обработка образцов осуществлялась по общепринятой методике (Диатомовые..., 1974).

Таксономический анализ, подсчет створок диатомей, измерение их параметров: диаметра, длины, ширины – осуществлялись с помощью световых микроскопов (СМ) Amplival Carl-Zeiss и Axioskop 40 Carl Zeiss в постоянных препаратах с покровным стеклом 18 × 18 мм при увеличении ×1000 с иммерсионной жидкостью. Для определения участия отдельных видов в тафоценозах диатомей подсчитывалось 250–300 створок. Для точной видовой идентификации отдельных таксонов морфологические особенности створок изучались с помощью сканирующих электронных микроскопов (СЭМ) Carl Zeiss EVO 40 при увеличении до ×15000 и Merlin при увеличении до ×50000 в Центре коллективного пользования «Биотехнология и генетическая инженерия» ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН (Владивосток). Для изучения в СЭМ оставшийся после приготовления постоянных препаратов осадок высушивался, затем наносился на специальные столики с наклеенным двусторонним углеродным скотчем и покрывался золотом в напылителе JEOL JFC-1600.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенный диатомовый анализ проб, в том числе с использованием световой и сканирующей микроскопии, отобранных из туфодиаомитов шуфанского горизонта, позволил установить особенности плиоценовой диатомовой флоры и выделить два комплекса.

Нижний комплекс, соответствующий слою 6 туфодиаомита (Павлюткин, Петренко, 2010), образован 144 видами и внутривидовыми таксонами (рис. 2). В комплексе ведущую роль играют планктонные центрические диатомей: доминирует *Aulacoseira praeislandica* (Jousé) Simonsen (до 82.7 %) (рис. 2, А, В, D–G), значительное участие принимают *Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützing (до 22.2 %) (рис. 2, H–J) и *Aulacoseira canadensis* (Hustedt) Simonsen (до 14.5 %) (рис. 2, C). Отмечено присутствие пеннатоидной *Fragilariforma bicapitata* (Mayer) Williams et Round (до 11.3 %). Сопутствующими таксонами являются *Gomphosphenia grovei* var. *lingulata* (Hustedt) Lange-Bertalot (до 4.4 %), *Ellerbeckia teres* (Brun) Crawford ex Houk et al. (до 3.9 %). Небольшое участие *Actinocyclus gorbunovii* (Sheshukova-Poretskaya) Moisseeva et Sheshukova-Poretskaya (до 0.76 %) (рис. 2, K), *Navicula radiosa* Kützing (до 0.7 %), *Placoneis amphibola* (Cleve) Cox (до 0.4 %), *Khursevichia*

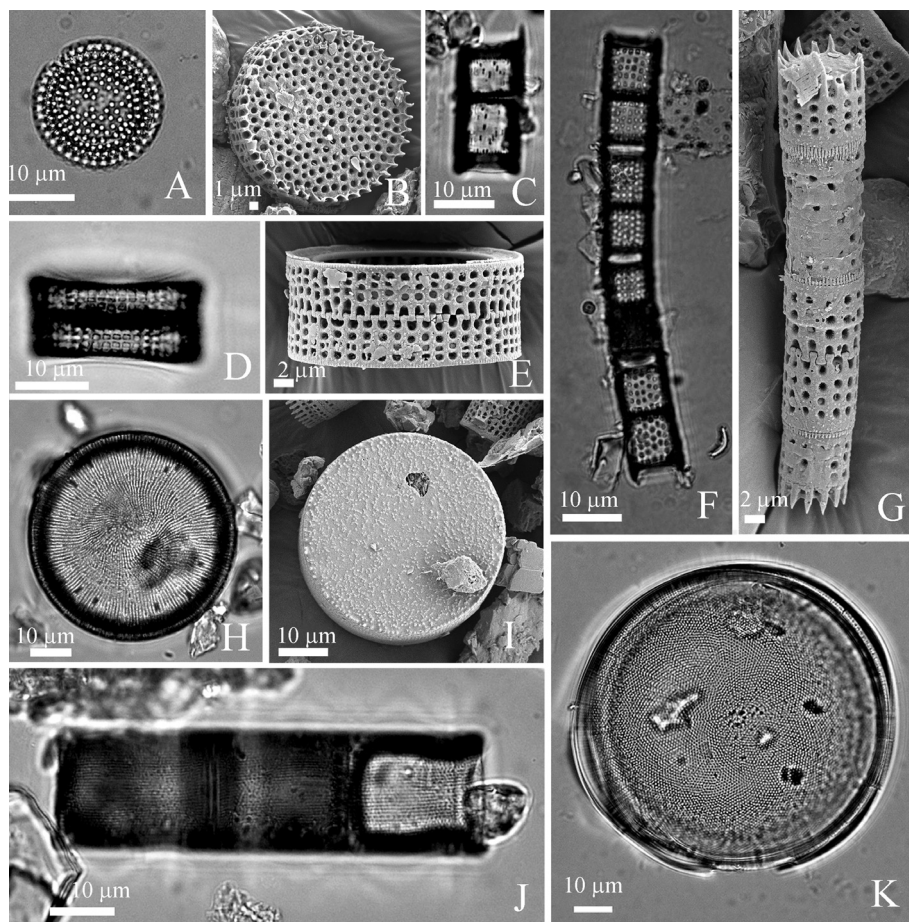


Рис. 2. Доминирующие и некоторые стратиграфически важные таксоны нижнего комплекса: А, В, D–G – *Aulacoseira praeislandica* (Jousé) Simonsen, С – *Aulacoseira canadensis* (Hustedt) Simonsen, H–J – *Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützing, К – *Actinocyclus gorbunovii* (Sheshukova-Poretskaya) Moisseeva et Sheshukova-Poretskaya (А, С, D, F, H, J, К – СМ, В, E, G, I – СЭМ).

Fig. 2. Dominant and some stratigraphically important taxa of the lower complex: А, В, D–G – *Aulacoseira praeislandica* (Jousé) Simonsen, С – *Aulacoseira canadensis* (Hustedt) Simonsen, H–J – *Melosira undulata* (Ehrenberg) Kützing, К – *Actinocyclus gorbunovii* (Sheshukova-Poretskaya) Moisseeva et Sheshukova-Poretskaya (А, С, D, F, H, J, К – LM, В, E, G, I – SEM).

jentschii (Grunow) Kulikovskiy, Metzeltin et Lange-Bertalot (до 0.3 %). Встречены единичные створки *Actinella brasiliensis* Grunow, *Cymbella tumida* (Bréb.) Van Heurck, *Eunotia japonica* Pantocsek и *Navicula americana* Ehrenberg. В комплексе также стоит отметить представителей рода *Tetracyclus* Ralfs – при незначительном количественном участии (до 0.7 %) установлено высокое видовое разнообразие рода: *Tetracyclus ellipticus* (Ehrenberg) Grunow, *T. lacustris* var. *elongatus* Husted, *T. glans* (Ehrenberg) Mills и другие.

Верхний комплекс, соответствующий слою 8 туфодиадомита (Павлюткин, Петренко, 2010), образован 26 видами и внутривидовыми таксонами (рис. 3). Основу доминирующей группы этого комплекса составляют *Ellerbeckia teres* (до 33.9 %) (рис. 3, А–С), *Tetracyclus ellipticus* (Ehrenberg) Grunow (до 22.5 %) (рис. 3, D–F) и *Alveolophora tscheremissinova* Khursevich (до 15.9 %) (рис. 3, H, I, K). Сопутствующие таксоны – *Eunotia*

polyglyphoides Sheshukova-Poretskaya (до 6.6 %) (рис. 3, L), *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg (до 3.1 %), *Cymbella australica* (Schmidt) Cleve (до 2.6 %), *Orthoseira roeseana* (Rabenhorst) Pfitzer (до 2.6 %) (рис. 3, J), *Gomphonema subclavatum* (Grunow) Grunow (до 1.8 %).

ОБСУЖДЕНИЕ

Сложное геологическое строение территории Приморского края определяет довольно много вопросов, связанных со стратиграфией континентальных неогеновых отложений. Пространственная разобщенность отдельных частей их общего разреза при значительном сходстве как по литологическим характеристикам, так и по составу соответствующих палино- и других палеофлор затрудняет корреляцию конкретных разрезов и не дает возможности четко обозначить положение той или иной флоры в стратиграфической схеме региона (Красилов, 1989; Решения..., 1994; Пав-

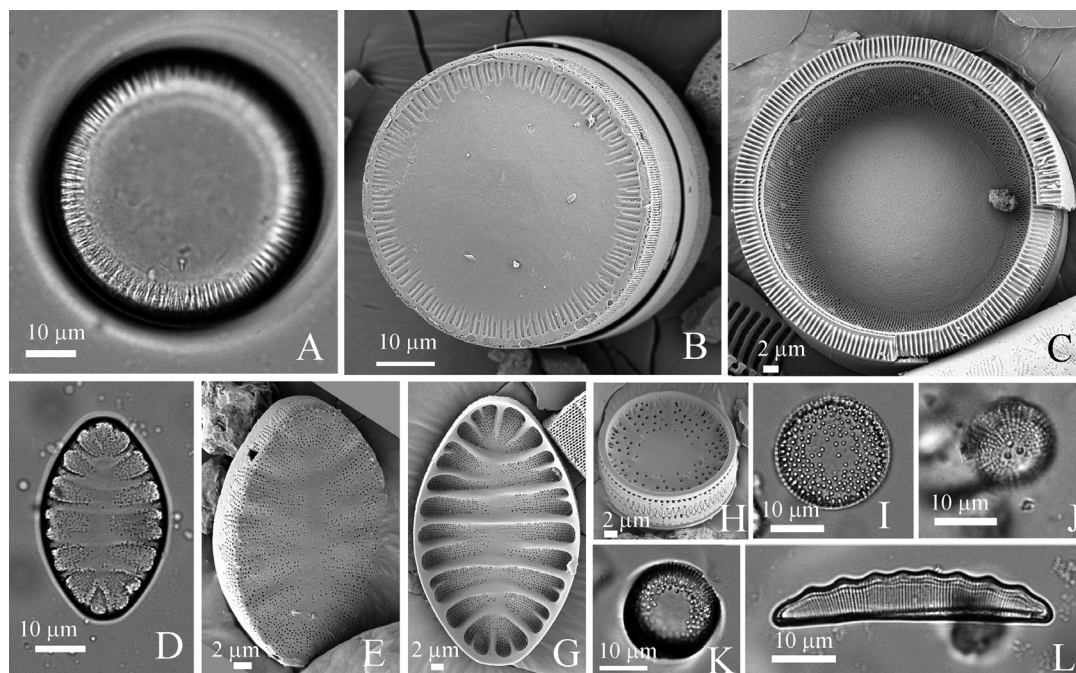


Рис. 3. Доминирующие и некоторые стратиграфически важные таксоны верхнего комплекса: А–С – *Ellerbeckia teres* (Brun) Crawford ex Houk et al., D–F – *Tetracyclus ellipticus* (Ehrenberg) Grunow, H, I, K – *Alveolophora tscheremissinovae* Khursevich, J – *Orthoseira roeseana* (Rabenhorst) Pfitzer, L – *Eunotia polyglyphoides* Sheshukova-Poretskaya (A, D, I–L – LM, B, C, E, G, H – СЭМ).

Fig. 3. Dominant and some stratigraphically important taxa of the upper complex: A–C – *Ellerbeckia teres* (Brun) Crawford ex Houk et al., D–F – *Tetracyclus ellipticus* (Ehrenberg) Grunow, H, I, K – *Alveolophora tscheremissinovae* Khursevich, J – *Orthoseira roeseana* (Rabenhorst) Pfitzer, L – *Eunotia polyglyphoides* Sheshukova-Poretskaya (A, D, I–L – LM, B, C, E, G, H – SEM).

люткин, Петренко, 2010). В связи с этим изучение стратотипических разрезов с палеонтологически обоснованными границами подразделений международной шкалы является первоочередной задачей (Красилов, 1989). Для этого необходимы всё более детальные их исследования с применением современных технологий, а с позиций палеонтологического изучения – и с учётом новых взглядов на систематику большинства групп руководящих организмов. Таким объектом является разрез шуфанского горизонта, к изучению которого ученые возвращаются вновь.

История исследования диатомовых водорослей из этих отложений насчитывает более чем 50-летнюю историю. Впервые диатомеи из прослоев диатомитов и туфодиатомитов по правобережью р. Суйфун (= р. Раздольная) и в районе с. Красный Яр были обнаружены А. И. Моисеевой (1971). С помощью световой микроскопии ею был определен таксономический состав комплекса, состоящий из 65 форм диатомовых водорослей, приведены микрофотографии и рисунки некоторых таксонов. Позже А. И. Моисеева (1995) вновь описывает этот комплекс в соответствии с современными представлениями о систематике. В нем доминируют представители родов *Actinocyclus* и древние *Aulacoseira* (Моисеева, 1971, 1995). При проведении геологосъёмочных

работ с 1979 по 1982 г. Е. И. Царько был выполнен диатомовый анализ отложений, вскрытых скважиной 415 (Отчет..., 1982). Послойное изучение позволило проследить смену комплексов с доминированием древних представителей рода *Aulacoseira* группы «*prae*» до комплекса, образованного практически одним видом *Melosira scabrosa* (= *Ellerbeckia teres*), и провести реконструкцию изменений условий среды обитания этих водорослей (Отчет..., 1982). Изучение диатомей из отложений шуфанского горизонта продолжилось О. Ю. Лихачёвой и В. С. Пушкарём (Лихачева, 2013, Лихачева и др., 2009; Pushkar et al., 2019). В 2022 г. получены новые образцы, которые были детально изучены авторами настоящего исследования с помощью СМ и СЭМ высокого разрешения, позволившие осуществить точную видовую диагностику таксонов.

Данные исследования позволили провести анализ таксономического состава и количественных характеристик диатомовых комплексов из шуфанского горизонта, что дало возможность выделить две стадии развития экосистемы древнего озера, существовавшего в течение плейстоцена вблизи с. Тереховка.

Нижний комплекс характеризует раннюю стадию – олиготрофный глубокий водоём с абсолютным доминантом в планктоне – *Aulacoseira*

praeislandica. Стоит отметить, что представители рода *Aulacoseira* Thwaites часто являются доминирующими видами планктонных альгоценозов пресноводных олиготрофных современных водоемов (Трифорова, 1979, 1980). Так, *Aulacoseira islandica* (Müller) Simonsen, возможным предком которой как раз и является *A. praeislandica* (Усольцева, 2006), – холодноводный вид с температурным оптимумом от +5 до +10 °С и абсолютный доминант весеннего и осеннего планктона (Многолетние..., 2008). Массового развития *A. islandica* достигает в открытых озёрах и крупных их заливах с максимальными концентрациями в прибрежной зоне (Лихошвай, 2004).

Другой особенностью этого комплекса является его теплолюбивый характер, о чем свидетельствуют значительное участие относительно теплолюбивой *Melosira undulata* и находки створок, хоть и единичных, но не менее важных, *Actinella brasiliensis*, относящейся к роду, представители которого встречаются в основном в тропических регионах (Round et al., 1990) и центрами разнообразия которого являются тропические районы Южной Америки и Африки (Sabbe et al., 2001). Помимо этого встречены космополитные обитатели стоячих вод *Symbella tumida* и *Navicula americana*.

Рассматриваемый комплекс представлен большей частью вымершими формами. Из них, помимо доминирующего вида *A. praeislandica*, со значительными оценками обилия в качестве субдоминанта встречается *A. canadensis*. На данном возрастном уровне завершают свое развитие *Eunotia japonica* и *Actinocyclus gorbunovii*, встречающиеся и в более древних диатомовых флорах Южного Приморья (Моисеева, 1995; Пушкарь и др., 2024).

Высокое таксономическое разнообразие, присутствие обитателей разных экологических зон озера и участие теплолюбивых таксонов свидетельствуют о формировании нижнего комплекса в достаточно крупном водоёме с множеством биотопов во время потепления плиоцена, когда температуры были выше современных (Johnson, 2021).

Верхний комплекс отражает следующую стадию существования озера и характеризует процессы снижения уровня воды в водоёме. Об этом свидетельствуют обилие бентосных таксонов, приуроченных к местообитаниям с небольшими глубинами. Среди них доминирующую группу комплекса образуют: *Ellerbeckia teres* и *Alveolophora tscheremissinovae*, также с высокой частотой встречаемости обнаружены болотные представители рода *Eunotia* Ehrenberg и представители холодолюбивого рода *Tetracyclus*.

В диатомовой флоре верхнего комплекса продолжают принимать значительное участие вы-

мершие диатомеи (*Tetracyclus ellipticus*, *Alveolophora tscheremissinovae*). Снижение морфологического разнообразия рода *Aulacoseira* можно рассматривать как завершение эволюционного пути древних его представителей, которые на протяжении всего неогена господствовали и в количественном, и в таксономическом отношении во многих флорах всего земного шара. Появляются представители современного рода *Orthoseira* Thwaites.

Резкое снижение видового разнообразия и вымирание древних таксонов свидетельствует о смене условий окружающей среды. Увеличение участия представителей холодолюбивого рода *Tetracyclus*, скорее всего, связано с этапом похолодания, произошедшим на границе плиоцена и плейстоцена с максимальной фазой на рубеже 2.58 млн л. (Lisiecki, Raymo, 2005). В это время доминирующее положение в муссонной циркуляции приобретает зимний муссон, начинается экспансия полярных ледниковых шапок (переход планеты из режима «Greenhouse» в режим «Icehouse»), определивших последовательное формирование современной климатической системы Земли (Wang et al., 2003).

Данные диатомового анализа вполне соответствуют результатам спорово-пыльцевого анализа, сопоставленным с данными по скважине 415. В осадочной толще разреза 4131 выделены также два палинологических комплекса (Павлюткин, Петренко, 2010).

Спорово-пыльцевые спектры нижней части разреза (слои 2–4; Павлюткин, Петренко, 2010) характеризуются преобладанием пыльцы покрытосеменных, среди которых заметную роль играет пыльца семейства берёзовых (*Betulaceae* Gray), прежде всего мелколиственных пород – *Alnus* Mill. (до 19.3 %), *Betula* L. (2.9 %), а также широколиственных: *Carpinus* L. (до 6 %) и *Corylus* L. (до 3.6 %). Представители этого семейства в настоящее время широко распространены в зоне умеренного климата Северного полушария, но могут заходить и в регионы более южных широт (Жизнь..., 1980). Из широколиственных также встречены *Juglans* L. (до 5.1 %), *Castanea* Mill. (до 4.3 %) и *Ulmus* L. (до 4.3%), характерные для теплоумеренных районов. Из голосеменных доминирует *Pinus* subg. *Haploxydon* (Koehne) Rehder (4–19.2 %), значительно меньше *Picea* sect. *Omorica* Willk. (1.4–2.3 %). Участие представителей семейства *Taxodiaceae* Endl. ex K. Koch составляет 1.2–2.3 %. Найдены единичные пыльцевые зёрна тропических и субтропических листопадных, реже вечнозелёных деревьев родов *Celtis* L., *Liquidambar* L. и *Carya* Nutt. В отложениях обнаружена пыльца семейства тутовых (*Moraceae* Gaudich.), являющихся в настоящее время непременным компо-

нением дождевого тропического леса (Жизнь..., 1980).

Верхний комплекс (слои 5–8; Павлюткин, Петренко, 2010) включает два типа спорово-пыльцевых спектров, как отмечает Б. И. Павлюткин, «весьма оригинальных и пока однозначно не интерпретируемых» (Павлюткин, Петренко, 2010. С. 106). В одном из них преобладает пыльца голосеменных, почти исключительно относящихся к семейству сосновых (до 97 %), в другом – пыльца покрытосеменных семейства березовых (*Alnus* и *Betula* в сумме до 93 %), но для обоих типов характерно практически полное отсутствие пыльцы широколиственных пород. Встречены лишь редкие пыльцевые зерна *Juglans*, *Carpinus*, *Corylus*, *Quercus* L., *Fagus* L., *Ulmus* L., *Acer* L., *Tilia* L., *Syringa* L. Такие особенности спектров делают их близкими к спектрам плейстоценового возраста. Вместе с тем обилие пыльцы *Abies* Mill. (до 36 %) не отмечено ни для одного из известных палинокомплексов как в четвертичных, так и дочетвертичных отложениях. Такие спектры, по мнению авторов, отражают плиоценовые колебания климата, хорошо выраженные на глобальных палеотемпературных кривых (Wang et al., 2003; Павлюткин, Петренко, 2010).

Это дает основание предполагать, что осадки верхней части отложений были сформированы во время начинающегося глобального похолодания климата, которое отмечалось в интервале 3.0–2.2 млн л. с максимальной фазой на уровне 2.5–2.4 млн л. и не уступало по масштабности последнему позднеплейстоценовому оледенению планеты на рубеже 26.5–18 тыс. л. н. (Wang et al., 2003).

Помимо шуфанского горизонта в объеме плиоцена ранее находилась красноцветная «пудинговая» толща, характеризующаяся отсутствием каких-либо палеонтологических остатков и отличающаяся особой макротекстурой: рассеянная галька и щебень, как бы плавающие в глинистой плазме (Павлюткин, 1995). По ряду литологических признаков (отсутствие свободного глинозема и обилие безводных окислов) было установлено, что данная толща представляет собой продукт красноземного выветривания, по мнению А. М. Короткого (Короткий и др., 1996) происходившего в условиях умеренного климата при продолжительном сухом сезоне. Обратная остаточная намагниченность этих отложений дала основание рассматривать время её накопления в рамках палеомагнитных эпох Гаусс и Матуйма (Алексеев, 1973, 1978; Воскресенская и др., 1978). Более поздние исследования, проведенные Б. И. Павлюткиным (Павлюткин, Петренко, 2010), позволили обозначить эти отложения как региональное подразделение – анненский горизонт – и считать возраст его накопления – гелазский ярус позднего плиоцена.

В 2009 г. по решению Международного союза геологических наук, после активного обсуждения, нижняя граница квартера была установлена на уровне 2.58 млн л. и, следовательно, гелазский ярус стал структурным подразделением плейстоцена. Соответственно, граница между плиоценом и четвертичной системой в Приморском крае была проведена по подошве красноцветной «пудинговой» толщи, или регионального анненского горизонта (Павлюткин, Петренко, 2010; Павлюткин и др., 2024).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ вымирания и появления таксонов, как эволюционных событий, в кайнозойской истории диатомовой флоры региона показывает, что ко времени, соответствующему уровню анненского горизонта (гелазский ярус), из отложений практически полностью исчезают древние виды. Очевидно, это было связано с резкими глобальными изменениями климата (Wang et al., 2003), которые отразились на особенностях формирования отложений. Так, для осадков нижнего комплекса отмечается доминирование представителей планктонного рода *Aulacoseira*, сменяющееся господством в верхнем комплексе бентосных: *Ellerbeckia teres*, *Tetracyclus ellipticus* и *Alveolophora tscheremissinovaе*, что стало следствием снижения уровня и площади водоемов и подтверждает смену озёрного седиментогенеза аллювиальным, отмеченным для этого времени (Pushkar et al., 2019).

Похолодание позднего плиоцена, начавшееся около 3.6 млн л. назад с выраженным температурным минимумом на уровне ≈ 2.58 млн л., достаточно ярко отразилось в экологических структурах диатомовых ассоциаций (верхний комплекс), в которых преобладают бентосные представители северо-бореальных флор. Для отложений этого времени характерны лишь единичные пыльцевые зёрна широколиственных пород, а палеоландшафты становятся близкими к раннеплейстоценовым. С этого момента начинается сосуществование и экспансия полярных ледниковых шапок (переход планеты из режима «Greenhouse» в режим «Icehouse»), определивших формирование современной климатической системы Земли, что подчеркивает палеоклиматическую глобальность данного события (Wang et al., 2003). В литологическом отношении для южной части Приморья с этим рубежом совпадает подошва толщи красноцветов анненского горизонта, соответствующая нижней границе гелазского яруса (2.58 млн л.), не содержащая органических остатков и формировавшаяся, скорее всего, в условиях уже холодного и сухого климата.

Таким образом, проведённые реконструкции окружающей среды на основе плиоценовых ди-

атомовых данных, подкреплённых результатами палинологического анализа, из отложений, сформировавшихся при переходе к плейстоценовой красноцветной толще, указывают на климатические изменения в плиоцен-плейстоценовое время и подтверждают правомочность проведение границы этих двух периодов на уровне 2.58 млн л.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012200182-1) и ДВГИ ДВО РАН (тема № 122040800201-8). Авторы выражают глубокую благодарность С. В. Коваленко (АО Дальневосточного ПГО Росгеология) и сотрудникам Дальневосточного геологического института ДВО РАН д. г.-м. н. Б. И. Павлюткину и И. Ю. Чекрыжову за оказанное содействие в сборе материала, также В. М. Казарину (ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН) за помощь при работе на сканирующем электронном микроскопе.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев М. Н.* Антропоген Восточной Азии. Стратиграфия и корреляция. Москва : Наука, 1978. 213 с.
- Алексеев М. Н.* Граница между неогеном и четвертичной системой в Восточной Азии // Международный коллоквиум по проблеме «Граница между неогеном и четвертичной системой». Москва: Наука, 1973. Т. 4. С. 3–32.
- Воскресенская Т. Н., Глушанкова Н. И., Муратова М. В., Шумова Г. М.* Новые данные к палеогеографии плиоцена Приханкайской впадины // Палеогеография плейстоцена Дальнего Востока и его морей. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 71–75.
- Гладенков Ю. Б.* Биосферная стратиграфия (проблемы стратиграфии начала XXI века). Москва: ГЕОС, 2004. 120 с. (Труды ГИН РАН; Вып. 551).
- Гладенков Ю. Б.* Громкая стратиграфическая дискуссия начала XXI века (статус и нижняя граница квартера) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2010. Т. 18. № 2. С. 125–128.
- Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные) / Ред. А. И. Прошкина-Лавренко.* Ленинград: Наука, 1974. Т. 1. 403 с.
- Жизнь растений / Ред. А. Л. Тахтаджян.* Москва: Просвещение, 1980. Т. 5. Ч. 1. Цветковые растения. 430 с.
- Короткий А. М., Гребенникова Т. А., Пушкарь В. С., Разжигаева Н. Г., Волков В. Г., Ганзей Л. А., Мохова Л. М., Базарова В. Б., Макарова Т. Р.* Климатические смены на территории юга Дальнего Востока в позднем кайнозое (миоцен-плейстоцен). Владивосток: ДВО РАН, 1996. 57 с.
- Красилов В. А.* Кайнозой Дальнего Востока: геодинамическая схема, опорные разрезы, флорогенез // Кайнозой Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 23–33.
- Красилов В. А.* Эволюция и биостратиграфия. Москва: Наука, 1977. 256 с.
- Лихачева О. Ю.* Основные геологические события неогена юга Приморья (диатомовый анализ) : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Владивосток, 2013. 26 с.
- 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.
- Лихошвай Е. В.* Эволюция диатомовых водорослей рода *Aulacoseira* Thwaites в озере Байкал : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2004. 30 с.
- Лосева Э. И.* Прекрасные невидимки. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 146 с.
- Многолетние изменения биологических сообществ мезотрофного озера в условиях климатических флуктуаций и эвтрофирования / Ред. И. С. Трифонова.* Санкт-Петербург: Лема, 2008. 246 с.
- Моисеева А. И.* Атлас неогеновых диатомовых водорослей Приморского края // Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Т. 171. Ленинград, 1971. 152 с.
- Моисеева А. И.* Расчленение континентальных отложений неогена Дальнего Востока по диатомеям // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1995. Т. 3. № 5. С. 92–103.
- Отчет Тереховской партии о результатах геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 за 1979–1982 гг. на уч. Тереховском.* Геологическое строение и полезные ископаемые площади трапеций К-52-24-Б; К-52-12-В-а, б; L-52-144-В-а, в. (бассейн реки Раздольной). Вольно-Надеждинское / Б. И. Павлюткин, В. Б. Сергеев. № 010619. 1982. ТФГИ.
- Павлюткин Б. И.* Неогеновые красноцветы Приморья // Тихоокеанская геология. 1995. Т. 14. № 2. С. 119–125.
- Павлюткин Б. И., Петренко Т. И.* Стратиграфия палеоген-неогеновых отложений Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2010. 164 с.
- Павлюткин Б. И., Чекрыжов И. Ю., Петренко Т. И.* Основные стратиграфические рубежи в кайнозое Приморья и их проявление в литологии и палеофлорах // Тихоокеанская геология. 2024. Т. 43. № 5. С. 22–38.
- Пушкарь В. С., Авраменко А. С., Черепанова М. В., Лихачёва О. Ю.* Усовершенствование зональной диатомовой шкалы неогена Приморья (Россия) // Тихоокеанская геология. 2024. Т. 43. № 5. С. 5–21.
- Решения IV Межведомственного стратиграфического совещания по докембрию и фанерозою юга Дальнего Востока и Восточного Забайкалья (Хабаровск, 1990 г.).* Хабаровск: ХГТГП, 1994. 124 с.
- Современные проблемы стратиграфии неогена и квартера России / Отв. ред. Ю. Б. Гладенков.* Москва: ГЕОС, 2011. 108 с.
- Трифонова И. С.* Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка Ленинград: Наука, 1979. 168 с.
- Трифонова И. С.* Характеристика изменений гидробиоценозов в экосистемах озера / Эвтрофирование мезотрофного озера. Ленинград: Наука, 1980. С. 59–77.
- Усольцева М. В.* Исследование внутривидовой variability некоторых видов рода *Aulacoseira* Thwaites из различных мест обитания : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2006. 16 с.

Etourneau J., Khelifi N. Workshop on Pliocene climate // Scientific Drilling. April 2010. Vol. 9. P. 52–53. DOI: 10.2204/iodp.sd.9.11.2010.

Haywood A. M., Hil D. J., Dolan A. M., Otto-Bliesner B., Bragg F., Chan W. L., Chandler M. A., Contoux C., Jost A., Kamae Y., Lohmann G., Lunt D. J., Abe-Ouchi A., Pickering S. J., Ramstein G., Rosenbloom N. A., Sohl L., Stepanek C., Yan Q., Ueda H., Zhang Z. Large-scale features of Pliocene climate: Results from the Pliocene Model Intercomparison Project // *Climate of the Past*. 2013. Vol. 9. P. 191–209. DOI: 10.5194/cp-9-191-2013.

Krantz D. E. Mollusk-Isotope records of Plio-Pleistocene marine paleoclimate, U.S. Middle Atlantic coastal plain // *PALAIOS*. 1990. Vol. 5. P. 317–335.

Johnson M. E. Geological oceanography of the Pliocene warm period: A review with predictions on the future of global warming // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021. Vol. 9. No. 11. 1210. DOI: 10.3390/jmse9111210.

Lewis A. R., Marchant D. R., Ashworth A. C., Hedenäs L., Hemming S. R., Johnson J. V., Leng M. J., Machlus M. L., Newton A. E., Raine J. I., Willenbring J. K., Williams M., Wolfe A. P. Mid-Miocene cooling and the extinction of tundra in continental Antarctica // *PNAS*. 2008. Vol. 105. No. 31. P. 10676–10680. DOI: 10.1073/pnas.0710676105.

Lisiecki L. E., Raymo M. E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // *Paleoceanography*. 2005. Vol. 20. Art. PA1003.

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 Journal on Algae*. 2019. Vol. 21. No. 2. P. 163–176.

Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. The diatoms: Biology and morphology of the genera. New York: Cambridge University Press, 1990. 747 p.

Sabbe K., Vanhoutte K., Lowe R. L., Bergey E. A., Biggs B. J. F., Francoeur S., Hodgson D., Vyverman W. Six new Actinella (Bacillariophyta) species from Papua New Guinea, Australia and New Zealand: Further evidence for widespread diatom endemism in the Australasian region // *European Journal of Phycology*. 2001. Vol. 36. P. 321–340.

Sanchez Montes M. L., McClymont E. L., Müller J., Cowan E. A., Romero O. E., Moy C., Lloyd J. M. Climate-ocean-ice sheet interactions across the Pliocene and Pleistocene: Preliminary results from IODP 341 Exp (Gulf of Alaska) // Abstract AGU Fall Meeting (San Francisco, CA, USA, December 14–19, 2014). San Francisco, CA, USA, 2016. DOI: 10.1029/2016AGU48158.

Wang P., Zhao Q., Jian Z., Cheng X., Huang W., Nian J., Wang J., Li Q., Li B., Sun X. Thirty million year deep sea records in the South China Sea // *Chinese Science Bulletin*. 2003. Vol. 48. No. 23. P. 2524–2535.

Wilson K. E. Plio-Pleistocene reconstruction of East African and Arabian Sea palaeoclimate: Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. London, 2011. 301 p.

Zachos J., Pagani M., Stone L., Thomas E., Billups K. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present // *Science*. 2001. Vol. 292. P. 686–693.

Поступила в редакцию 28.06.2024.

Поступила после доработки 19.07.2024.

CLIMATE CHANGES IN SOUTHERN PRIMORYE AT THE PLIOCENE- PLEISTOCENE BORDER AS THE MOST IMPORTANT STRATIGRAPHIC BOUNDARY OF THE LATE CENOZOIC

A. S. Avramenko¹, V. S. Pushkar²

¹ Federal Research Center for Terrestrial Biota Biodiversity of East Asia, FEB RAS, Vladivostok

² Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok

The study of diatoms from Southern Primorye's Pliocene deposits permitted to comprehensively reconstruct the climate of the region during the cooling increase at the border of the late Pliocene and Pleistocene. The ecological composition of the diatom flora recorded a trend of rapid decrease of temperatures and water levels in the range of 3.6–2.58 Ma, while the dominant *Aulacoseira* flora changing to a flora dominated by predominantly benthic taxa (*Ellerbeckia*, *Tetracyclus*, *Alveolophora*) marked a transition from lacustrine to alluvial sedimentogenesis, as well as the evolutionary extinction of ancient representatives of the genus *Aulacoseira* and their replacement by modern taxa.

Keywords: diatoms, Pliocene, Pleistocene, climate reconstruction, Primorye.

REFERENCES

- Alekseyev, M. N., 1978. Anthropogene in East Asia. Moscow, Nauka [In Russian].
- Alekseyev, M. N., 1973. Border between the Neogene and the Quaternary System in East Asia, *International Colloquium on the Problem Border between the Neogene and the Quaternary System*. Moscow, Nauka, 4, 3–32 [In Russian].
- Decisions of the 4th Interdepartmental Regional Stratigraphic Meeting on the Precambrian and Phanerozoic in the Southern Far East and Eastern Transbaikalian Region (Khabarovsk, 1990), 1994. Khabarovsk, Khabarovsk State Mining and Geology Enterprise [In Russian].
- Diatoms of the USSR (Fossil and Modern), 1974. Ed. A. I. Proshkina-Lavrenko, Leningrad, Nauka, 1 [In Russian].
- Etourneau, J., Khelifi, N., 2010. Workshop on Pliocene Climate April, *Scientific Drilling*. 9, 52–53. DOI: 10.2204/iodp.sd.9.11.2010.
- Gladenkov, Yu. B., 2010. A Topical Stratigraphic Discussion in the Early 21st Century (the Status and Lower Boundary of the Quaternary), *Stratigraphy and Geological Correlation*. 18 (2), 225–228 [In Russian].
- Gladenkov, Yu. B., 2004. Biosphere Stratigraphy (Stratigraphic Problems of the Early 21st Century). Moscow, GEOS. (Transactions of GIN RAS; Vol. 551) [In Russian].
- Haywood, A. M., Hill, D. J., Dolan, A. M., Otto-Bliesner, B., Bragg, F., Chan, W. L., Chandler, M. A., Contoux, C., Jost, A., Kamae, Y., Lohmann, G., Lunt, D. J., Abe-Ouchi, A., Pickering, S. J., Ramstein, G., Rosenbloom, N. A., Sohl, L., Stepanek, C., Yan, Q., Ueda, H., Zhang, Z., 2013. Large-Scale Features of Pliocene Climate: Results from the Pliocene Model Intercomparison Project, *Climate of the Past*. 9, 191–209. DOI: 10.5194/cp-9-191-2013.
- Johnson, M. E., 2021. Geological Oceanography of the Pliocene Warm Period: A Review with Predictions on the Future of Global Warming, *Journal of Marine Science and Engineering*. 9 (11), 1210. DOI: 10.3390/jmse9111210.
- Korotky, A. M., Grebennikova, T. A., Pushkar, V. S., Razzhigaeva, N. G., Volkov, V. G., Ganzey, L. A., Mokhova, L. M., Bazarova, V. B., Makarova, T. R., 1996. Climatic Changes in the Late Cenozoic (Miocene-Pleistocene) in the South of the Far East. Vladivostok, FEB RAS [In Russian].
- Krantz, D. E., 1990. Mollusk-Isotope Records of Pliocene-Pleistocene Marine Paleoclimate, U.S. Middle Atlantic Coastal Plain, *PALAIOS*. 5, 317–335.
- Krasilov, V. A., 1989. Cenozoic of the Far East: Geodynamic Scheme, Reference Sections, *Cenozoic of the Far East*. Vladivostok, FEB AS USSR, 23–33 [In Russian].
- Krasilov, V. A., 1977. Evolution and Biostratigraphy. Moscow, Nauka [In Russian].
- Lewis, A. R., Marchant, D. R., Ashworth, A. C., Hedenäs, L., Hemming, S. R., Johnson, J. V., Leng, M. J., Machlus, M. L., Newton, A. E., Raine, J. I., Willenbring, J. K., Williams, M., Wolfe, A. P., 2008. Mid-Miocene Cooling and the Extinction of Tundra in Continental Antarctica, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 105 (31), 10676–10680. DOI: 10.1073/pnas.0706160105.
- Likhacheva, O. Yu., 2013. Basic Geological Events of the Neogene in Southern Primorye (Diatom Analysis) : Avtoref. Dis. ... Kandidata Geol.-Mineral. Nauk. Vladivostok [In Russian].
- Likhacheva, O. Yu., Pushkar, V. S., Cherepanova, M. V., Pavlyutkin, B. I., 2009. Zonal Diatom Scale and the Major Geobiological Events of Primorye Neogene, *Bulletin FEB RAS*. 4, 64–72 [In Russian].
- Likhoshvay, E. V., 2004. Evolution of Diatoms of the Genus *Aulacoseira* Thwaites in Lake Baikal : Avtoref. Dis. ... Doctora Biol. Nauk. Novosibirsk [In Russian].
- Lisiecki, L. E., Raymo, M. E., 2005. A Pliocene-Pleistocene Stack of 57 Globally Distributed Benthic $\delta^{18}\text{O}$ Records, *Paleoceanography*. 20, PA1003.
- Loseva, E. I., 2002. Beautiful Invisible Diatoms. Ekaterinburg, Ural Division RAS [In Russian].
- Long-Term Changes in the Biological Communities in a Mezotrophic Lake under Climatic Fluctuations and Eutrophication, 2008. Ed. I. S. Trifonova. St. Petersburg, Lema [In Russian].
- Modern Problems of Neogene and Quaternary Stratigraphy in Russia, 2011. Ed. Yu. B. Gladenkov. Moscow, GEOS [In Russian].
- Moiseyeva, A. I., 1971. Atlas of Neogene Diatoms in Primorsky Krai, *Proceedings of VSEGEI, New Series*. Leningrad, 171 [In Russian].
- Moiseyeva, A. I., 1995. Diatom Division of Continental Neogene Deposits in the Far East, *Stratigraphy and Geological Correlation*. 3 (5), 92–103 [In Russian].
- Pavlyutkin, B. I., 1995. Neogene Red-Colored Sediments in Primorye, *Russian Journal of Pacific Geology*. 14 (2), 119–125 [In Russian].
- Pavlyutkin, B. I., Petrenko, T. I., 2010. Stratigraphy of Paleogene–Neogene Sediments in Primorye. Vladivostok, Dalnauka [In Russian].
- Pavlyutkin, B. I., Chekryzhov, I. Yu., Petrenko, T. I., 2024. Main Stratigraphic Boundaries in the Cenozoic of Primorye and Their Manifestation in Lithology and Palaeofloras, *Russian Journal of Pacific Geology*. 43 (5), 22–38 [In Russian].
- Plant Life, 1980. Ed. A. L. Takhtajan. Moscow, Prosvetsheniye, 5, 1. Flowering Plants [In Russian].
- Pushkar, V. S., Avramenko, A. S., Cherepanova, M. V., Likhacheva, O. Yu., 2024. Improvement to the Zonal Diatom Scale of the Neogene in Primorye (Russia), *Russian Journal of Pacific Geology*. 43 (5), 5–21 [In Russian].
- Pushkar V. S., Likhacheva O. Yu., Usovskaya M. V., 2019. Zonal Diatom Scale of the Continental Neogene in Primorye (Most Southern Territory of the Russian Far East), *International Journal of Algae*. 21 (2), 163–176.
- Report of the Terekhovka Department on the Results of Geological Survey Work on a Scale of 1 : 50,000 for 1979–1982 at the Terekhovka Site. Geological Structure and Minerals of the Area of Trapezoids K-52-24-B; K-52-12-V-a, b; L-52-144-B-a, b. (Razdolnaya River Basin), 1982. Eds. B. I. Pavlyutkin, V. B. Sergeyev. No. 010619 [In Russian].
- Round, F. E., Crawford, R. M., Mann, D. G., 1990. The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera. New York, Cambridge University Press.
- Sabbe, K., Vanhoutte, K., Lowe, R. L., Bergey, E. A., Biggs, B. J. F., Francoeur, S., Hodgson, D., Vyverman, W.,

2001. Six New Actinella (Bacillariophyta) Species from Papua New Guinea, Australia and New Zealand: Further Evidence for Widespread Diatom Endemism in the Australasian Region, *European Journal of Phycology*. 36, 321–340.

Sanchez Montes, M. L., McClymont, E. L., Müller, J., Cowan, E. A., Romero, O. E., Moy, C., Lloyd, J. M., 2016. Climate-Ocean-Ice Sheet Interactions across the Pliocene and Pleistocene: Preliminary Results from IODP 341 Exp (Gulf of Alaska), *Abstract AGU Fall Meeting (San Francisco, CA, USA. December 14–19, 2014)*. San Francisco, CA, USA. DOI: 10013/epic.48158.

Trifonova, I. S., 1980. Characteristics of Hydrobiocenoses Changes in Lake Ecosystems, *Eutrophication of a Mesotrophic Lake*. Leningrad, Nauka, 59–77 [In Russian].

Trifonova, I. S., 1979. Phytoplankton Composition and Productivity in Different Types of the Karelian Isthmus Lakes. Leningrad, Nauka [In Russian].

Voskresenskaya, T. N., Glushankova, N. I., Muratova, M. V., Shumova, G. M., 1978. New Data on the Pliocene Paleogeography of the Khanka Basin, *Pleistocene Paleogeography of the Far East and Its Seas*. Vladivostok, FESC AS USSR, 71–75 [In Russian].

Wang, P., Zhao, Q., Jian, Z., Cheng, X., Huang, W., Nian, J., Wang, J., Li, Q., Li, B., Sun, X., 2003. Thirty Million Year Deep Sea Records in the South China Sea, *Chinese Science Bulletin*. 48 (23), 2524–2535.

Wilson, K. E., 2011. Plio-Pleistocene Reconstruction of East African and Arabian Sea Palaeoclimate : Thesis Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy. London.

Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., Billups, K., 2001. Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present, *Science*. 292, 686–693.