

Причины высокой продуктивности диатомей в неогеновых водоемах Южного Приморья

Causes of high diatom productivity in Neogene Lake of the Southern Primorye

Авраменко А.С.¹, Пушкарь В.С.²

Aleksandra S. Avramenko, Vladimir S. Pushkar

¹ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН
(Владивосток, Россия)

²Дальневосточный геологический институт ДВО (Владивосток, Россия)

avramenko@biosoil.ru

Изучение диатомей из неогеновых кремнистых органогенных отложений Приморья позволило установить таксономический состав, оценить качественную (экологическую) и количественную характеристики диатомовых флор, их образующих. Анализ особенностей ископаемых микрофоссилий позволил определить условия формирования пород и причины, определившие высокую продуктивность диатомей. Ими могли быть: развитие густой озерно-речной сети в регионе; длительный вегетационный период в условиях сформировавшегося к этому времени муссонного климата с мягкой зимой; активный вулканизм, продукты извержения которого были источником веществ, необходимых для поддержания жизнедеятельности водорослей и формирования их створок.

Ключевые слова: ископаемые диатомеи; продуктивность; неоген; Приморье

The fossil diatoms were studied from Neogene siliceous organogenic deposits of Primorye. The taxonomic composition of the diatom flora, to evaluate its qualitative (ecological) and quantitative characteristics were established. Based on analysis of the fossil microfossils features to established the conditions for the formation of rocks and the causes that determined the high productivity of diatoms. The probable causes could be: the development of a dense lake-river network; a long growing season under the conditions of a monsoon climate with mild winters that had formed by that time; active volcanism, the eruption products of which were a source of substances necessary for the maintaining vital activity of diatoms and formation of their valves.

Keywords: fossil diatoms; diatom productivity; Neogene; Primorye

Диатомеи являются важнейшими и наиболее распространенными представителями фитопланктонных сообществ и встречающиеся практически повсеместно во всех водных экосистемах. Являясь чуткими показателями изменчивости любых естественных факторов окружающей среды, они служат индикаторами событий, происходящих как в настоящем, так и прошлом. В тоже время, взаимодействие между изменениями климата и диатомеями это сложный механизм, поскольку и другие факторы, такие как характеристики озера, наличие биогенных элементов в зоне фотосинтеза, степень освещения, перемешивание и др., имеют влияние на диатомеи. Интересными объектами для изучения из геологического прошлого являются диатомиты – породы, состоящие более чем на 50% из кремнистых створок диатомей. Условия формирования диатомитовых отложений вплоть до настоящего времени остаются во многом неясными (Евзеров, 2011). Одной из

главных научных задач является установление причин, обеспечивающих благоприятные условия для богатого развития диатомей и сохранения их в осадках. Реконструкция этих условий позволит установить причинно-следственные отношения между состоянием окружающей среды и высокой продуктивностью диатомей, и определить факторы, обеспечивающие диатомовый биогенный седиментогенез.

В кайнозойских отложениях Приморского края диатомиты и туфодиатомиты достаточно широко распространены, что представляет уникальную возможность детально исследовать процессы, происходящие в то время и имевшие влияние на развитие сообществ диатомей. Отметим, что помимо научной значимости, диатомиты представляют собой ценный биогенный источник минерального сырья, которое имеет широкое применение в хозяйственной деятельности человека.

Главной особенностью времени формирования диатомитов Приморья явилась трансформация климата, связанная с рядом геологических событий, включающих тектоническую активизацию и поднятие Тибетского плато, что привело к резкому контрасту в прогреве суши и поверхностных вод окраинных морей (Royden et al., 2008). Этими событиями было обусловлено формирование Азиатского муссона и усиление засушливости в Центральной Азии (Jiang, Ding, 2008; Pushkar et al., 2019). Еще одним глобальным событием этого времени был продолжительный положительный экскурс изотопов углерода, или «Monterey Excursion», совпадающий с границей ранний-средний миоцен и началом значительного потепления после 16,9 млн. л.н. (Flower, Kennett, 1993; Holbourn et al., 2007). Возможно, и оно определило в регионе максимум тепла во время миоценового климатического оптимума, завершившегося примерно 13,5 млн. л.н. тенденцией на похолодание, которое продолжилось в плиоцене, и прерывалось в самом раннем (5,2–5,0 млн. л.н.) и среднем (3,3–3,0 млн. л.н.) плиоцене (Harry et al., 2014). Подобные изменения климата в миоцен-плиоценовое время были зафиксированы и для Приморского края (Короткий и др., 1996; Павлюткин, Петренко, 2010; Pushkar et al., 2019).

Целью данного исследования стал анализ пространственно-временного распределения диатомей, их таксономического состава и высокой концентрации створок в миоцен-плиоценовых озерных осадках Южного Приморья и выяснение причин их обусловивших.

В основу работы положены результаты диатомового анализа образцов, отобранных из трех диатомитов, расположенных в разных районах Приморского края: 1) западный берег оз. Ханка, между населенными пунктами Турий Рог и Новокачалинск (Ханкайский район) – новокачалинский диатомит; 2) верховья р. Сергеевки (Партизанский район) – сергеевский диатомит; 3) вблизи с. Тереховка (Надеждинский район) – тереховский диатомит.

Таксономический анализ и подсчет створок диатомей осуществлялись с помощью световых Amplival Carl-Zeiss и Axioskop 40 Carl Zeiss и сканирующих электронных микроскопов Carl Zeiss EVO 40 и Merlin в Центре коллективного пользования «Биотехнология и генетическая инженерия» ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН. Определение содержания створок диатомей в 1 г осадка (N) проводилось согласно стандартной методике.

В результате были определены особенности миоцен-плиоценовых диатомовых флор, рассмотрены события этого времени и высказаны предположительные причины высокой продуктивности диатомей.

Во всех изученных диатомитах обнаружено значительное содержание створок, свидетельствующее о высокой продуктивности диатомей. Наибольшая концентрация установлена для тереховского диатомита – 1,5 млрд., средняя – для новокачалинского – 1,4 млрд. и наименьшая – для сергеевского – 610 млн. ств./1 г сухого осадка.

Для новокачалинского и тереховского диатомитов характерно преобладание планктонных центрических диатомей *Aulacoseira* Thwaites с доминированием *A. praegranulata* var. *praeislandica* f. *praeislandica* (Jousé) Moisseeva до 84.7 % и до 93.2% соответственно. В сергеевском диатомите преобладают бентосные пеннатные мелкостворчатые формы *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve et Möller до 84.8%, присутствуют *Aulacoseira italica* (Ehrenberg) Simonsen до 15.6% и крупностворчатые виды рода *Cymbella* Agardh (около 2%).

Доминирование во флорах новокачалинского и тереховского диатомитов представителей рода *Aulacoseira*, обитающих в планктоне современных крупных и глубоких озер (Трифенова, 1979), свидетельствует, что их накопление происходило в подобных водоемах. Представители родов *Staurosira* Ehrenberg из сергеевского диатомита, скорее всего, обитали в небольшом, относительно мелководном водоеме, возможно, старичного типа. Таксоны с маленькими створками из сергеевского диатомита, считаются пионерными видами во вновь появившихся современных олиготрофных арктических водоемах (Michelutti et al., 2003).

Реконструкции климата с помощью палинологического анализа (Короткий и др., 1996) позволили предположить, что в среднем миоцене на юге Приморского края, во время которого формировался новокачалинский диатомит, условия были схожи с современными субтропиками со среднегодовыми температурами +15–17°C, июльскими – +27–29°C, январскими – +4–7°C, и годовой суммой осадков – 1200–1400 мм. Именно обилие осадков и формирующийся муссонный климат обеспечивали развитие густой сети озер в регионе, а относительно теплая зима могла обуславливать продолжительный вегетативный период для развития диатомовых водорослей. С начала позднего миоцена и в течение плиоцена на юге Приморья отмечается похолодание климата: температура января – -2–3°C, температура июля – +22°C, годовая сумма осадков – свыше 1200 мм (Короткий и др., 1996). Такие условия определяли активное развитие диатомей в плиоценовых водоемах, результатом которого явилось формирование тереховского и сергеевского диатомитов.

Еще одним необходимым условием повышенной продуктивности диатомей является достаточное количество биогенных элементов и растворенного кремнезема, необходимых для этих водорослей. Основным источником поступления кремнезема и питательных веществ в озера Приморья в миоцене и плиоцене служили продукты активного вулканизма, что подтверждают мощные туфодиатомитовые толщи новокачалинской свиты и базальтовые потоки шуфанского горизонта (Павлюткин, Петренко, 2010). Доказательством высокого содержания кремнезема в воде являются окремненные панцири практически всех изученных диатомей. Возможно, что и вулканический пепел мог замедлять растворение биогенно-опалового кремнезема, способствуя формированию диатомовых залежей.

Фотосинтезирующие диатомовые водоросли, поглощающие углекислый газ, активно участвуют в углеродном цикле Земли, вырабатывая почти 25% кислорода на нашей планете (Kirk et al., 2011). Поэтому глобальное углеродное событие Монтерей, во время которого содержание такого парникового газа, как CO₂ в атмосфере повышалось до 470–630 ppm (Sosdian et al., 2018), в отличие от современного, составляющего 300–450 ppm, несомненно могло повлиять на продуктивность диатомей (Пушкарь, 2020). Именно для новокачалинского диатомита, сформировавшимся в среднем миоцене, была отмечена максимальная концентрация створок в осадках.

Таким образом, причинами высокой продуктивности диатомей в неогеновых озерах Южного Приморья могли быть, прежде всего: благоприятная палеогеографическая обстановка, отличающаяся особым климатическим режимом, при котором формируются водоемы с богатой и обильной диатомовой флорой; высокое количество растворенного кремнезема и других питательных веществ в воде.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031500274-4).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Евзеров В.Я. Формирование месторождений диатомита на крайнем Северо-Западе России // Вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: геология. 2011. № 2. С.55–65.
2. 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.П. Климатические смены на территории юга Дальнего Востока в позднем кайнозое (миоцен-плейстоцен). – Владивосток: ДВО РАН, 1996. – 57 с.
3. Павлюткин Б.И., Петренко Т.И. Стратиграфия палеоген-неогеновых отложений Приморья. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 164 с.
4. Трифонова И.С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка. – Ленинград: Наука, 1979. – 168 с.
5. Flower B.P., Kennett J.P. Middle Miocene ocean-climate transition: High-resolution oxygen and carbon isotopic records from Deep Sea Drilling Project Site 588A, southwest Pacific // *Paleoceanography*. 1993. 8 (6). P. 811–843. DOI: <https://doi.org/10.1029/93pa02196>
6. Harry J.D., Chandler M.A., Cronin T.M., Dwyer G.S. Mid Pliocene Sea surface temperature variability // *Paleoceanography*. 2005. V.20, Is.2. PA2014. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005PA001133>
7. Holbourn A., Kuhnt W., Schulz M., Flores J.A., Andersen N. Orbitally-paced climate evolution during the middle Miocene “Monterey” carbon-isotope excursion // *Earth and Planetary Science Letters*. 2007. V.261, №3–4. P. 534–550.
8. Jiang H., Ding Z.A. 20 Ma pollen record of East-Asian summer monsoon evolution from Guyuan, Ningxia, China // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2008. V.265. P. 30–38.
9. Kirk J.T.O. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. – Cambridge: Cambridge University Press, 2011. – 649 p.
10. Michelutti N., Holtham A.J., Douglas M.S.V., Smol J.P. Periphytic diatom assemblages from ultraoligotrophic and UV transparent lakes and ponds on Victoria Island and comparisons with other diatom surveys in the Canadian Arctic // *Journal of Phycology*. 2003. V.39. P. 465–480.
11. Royden L.H., Burchfiel B.C., van der Hilst R.D. The geological evolution of the Tibetan plateau // *Science*. 2008. V.321. P. 1054–1058.
12. 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. V.22, №3. P. 163–176. DOI: <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v21.i2.60>
13. Sosdian S.M., Greenop R., Hain M.P., Foster G.L., Pearson P.N., Lear C.H. Constraining the evolution of Neogene ocean carbonate chemistry using the boron isotope pH proxy // *Earth and Planetary Science Letters*. 2018. V.498. P. 362–376.