

Условия формирования донных отложений безымянного озера в районе палеосейсмодислокации «Чуна» (по результатам диатомового и литологического анализов)

Косова А. Л.¹, Николаева С. Б.², Денисов Д. Б.¹

¹ Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, annkosova1976@yandex.ru

² Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, s.nikolaeva@ksc.ru

Аннотация. Представлены предварительные результаты изучения донных отложений безымянного озера, расположенного в районе палеосейсмодислокации «Чуна» (оз. Экостровская Имандра, Кольский регион). Донные отложения изучены литологическим, микропалеонтологическим (диатомовый анализ), геохронологическим (радиоуглеродное датирование) методами и продолжают серию комплексных исследований малых озер депрессии оз. Имандра.

Ключевые слова: донные отложения озера, диатомовые водоросли, палеосейсмичность, Имандровская депрессия, Кольский регион.

Paleoecology of the of bottom sediments of an unnamed lake in the paleoseismic dislocation «Chuna» area (according to diatom and lithological analysis)

Kosova A. L.¹, Nikolaeva S. B.², Denisov D. B.¹

¹ Institute of North Industrial Ecology Problems Kola SC RAS, Apatity, annkosova1976@yandex.ru

² Geological Institute Kola SC RAS, Apatity, s.nikolaeva@ksc.ru

Abstract. The paper presents preliminary results of a study of bottom sediments of an unnamed lake located in the area of the paleoseismic dislocation «Chuna» (Lake Ekostrovskaya Imandra, Kola region). The bottom sediments were studied by lithological, micropaleontological (diatom analysis), geochronological (radiocarbon dating) methods and continue a series of comprehensive studies of small lakes in the Lake Imandra depression.

Keywords: bottom lake sediments, diatoms, paleoseismicity, Imandra depression, Kola region.

Введение

В настоящее время продолжают исследования развития территории в пределах Имандровской депрессии в поздне- и послеледниковое время. Одним из направлений является изучение следов древних землетрясений (Nikolaeva, 2022). Кольский регион – один из самых развитых промышленных регионов Российской Федерации. На водосборе оз. Имандра расположены ряд промышленных предприятий, Кольская АЭС, в населенных пунктах проживает около 170 тыс. человек, по берегам проходит автомобильная и железнодорожная дороги федерального назначения (Экологическое состояние..., 2023). Исследования, направленные на оценку сейсмичности в голоцене, позволят оценить сейсмическую опасность региона в целом и особенно промышленных объектов в его границах.

Материалы и методы

Безымянное озеро (204.9 м н.у.м.) (N 69°34.94'; E 32°29.60') с вытянутой в СВ направлении котловиной (аз. прост. 65°) расположено в верхней части западного борта впадины озера Экостровская Имандра, в 0.2 км от сеймотектонического ущелья «Чуна» (рис. 1) (Николаева, Никон, 2019). Озеро, размерами 800×160 м, питается за счет малого потока с запада и в него попадают сточные воды из большей части поверхности ущелья. Такой характер водораспределения существовал и в голоцене.

Донные осадки озера были изучены в 2014 г. С целью уточнения условий формирования осадков, в августе 2020 г. было проведено дополнительное бурение скважин, заданных в ближней к ущелью ЮЗ наиболее глубокой части озера, произведен отбор проб на диатомовый анализ



Рис. 1. Карта расположения безымянного озера в районе палеосейсмодислокации «Чуна»

Fig. 1. Map of the location of the unnamed lake in the area of the paleoseismic dislocation «Chuna»

и радиоуглеродное датирование. Наиболее информативный разрез получен по скважине Чуна 2-2020 (N67°34'53.9"; E32°29'27.7").

Подготовка проб донных отложений для диатомового анализа проведена по стандартной общепринятой методике (Давыдова, 1985), по схеме, принятой в ИППЭС КНЦ РАН (Методы..., 2019). Определение диатомей велось с помощью светового микроскопа «Motic BA300» при увеличении в 1000 раз, с применением иммерсионного объектива. Все обнаруженные в препаратах створки водорослей определяли, по возможности, до внутривидовых таксономических категорий согласно определителям (Krammer, Lange-Bertalot, 1988–1991; Krammer, 2002, 2003; Куликовский и др., 2016). Классификация уточнялась согласно международной альгологической базе данных (International Algological Database Guiry & Guiry). Постоянные препараты, а также очищенный материал створок диатомовых водорослей хранятся в гербарии Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН (Боровичев и др., 2018).

Результаты и обсуждение

Литологическое описание донных отложений

В разрезе донных отложений вскрыта следующая последовательность осадков (описание сверху вниз, глубина указана от поверхности воды в озере):

500–600 см – гиттия коричневая, рыхлая, обводненная, обогащенная растительными остатками, верхние 20 см осадка вымывается при поднятии пробоотборника. С глубиной появляется неясная слоистость. Контакт с подстилающим слоем постепенный;

600–700 см – гиттия слоистая, коричневая до темно-коричневой, с прослоями темно-бурого цвета (толщиной от 0.5 до 2–5 см). Слоистость неравномерно распределена по длине интервала. В интервале глубин 664–675 см отмечаются скопления коры березы, растительного детрита, веточек. Переход в подстилающий слой постепенный;

700–735 см – гиттия коричневая неяснослоистая;

735–757 см – гиттия от коричневой до светло-коричневой, с включением единичных зерен гравия (!), размерами 0.7×0.4 см (интервал 735–738 см). В этом интервале отмечаются многочисленные фрагменты коры березы разной формы и размеров от мелких 0.3 до 1–3 см, растительные остатки и веточки до 0.4 см в поперечном сечении. С уровня 750 см цвет гиттии постепенно становится более светлым. Контакт с нижележащим слоем постепенный, появляются минеральные частицы;

757–772 см – слоистая толща, состоящая из гиттии и алевроита (прослой 2 мм), контакт с нижележащим слоем четкий, ровный. Переходная зона от гиттии к алевроиту;

772–793 см – алевроит светло-серого цвета с прослоями тонкозернистого серого песка (толщиной 3–3.5 см), с примесью органики (прослой гиттии?);

793–800 см – тонкослоистые алевриты и пески, с включениями в песок фрагментов разной формы светло-серой глины (2×2.5 см).

В строении разреза выделяются две основные фации осадков: приледникового озера (алевриты и пески) и современного пресноводного озера (гиттия), что подтверждается предварительными результатами диатомового анализа.

Диатомовый анализ

Для восстановления условий осадконакопления в котловине озера был выполнен диатомовый анализ. В 26 образцах обнаружено 192 вида диатомовых водорослей. По изменениям видового состава и концентрации видов в составе диатомовых комплексов выделено восемь зон развития диатомовых водорослей (рис. 2).

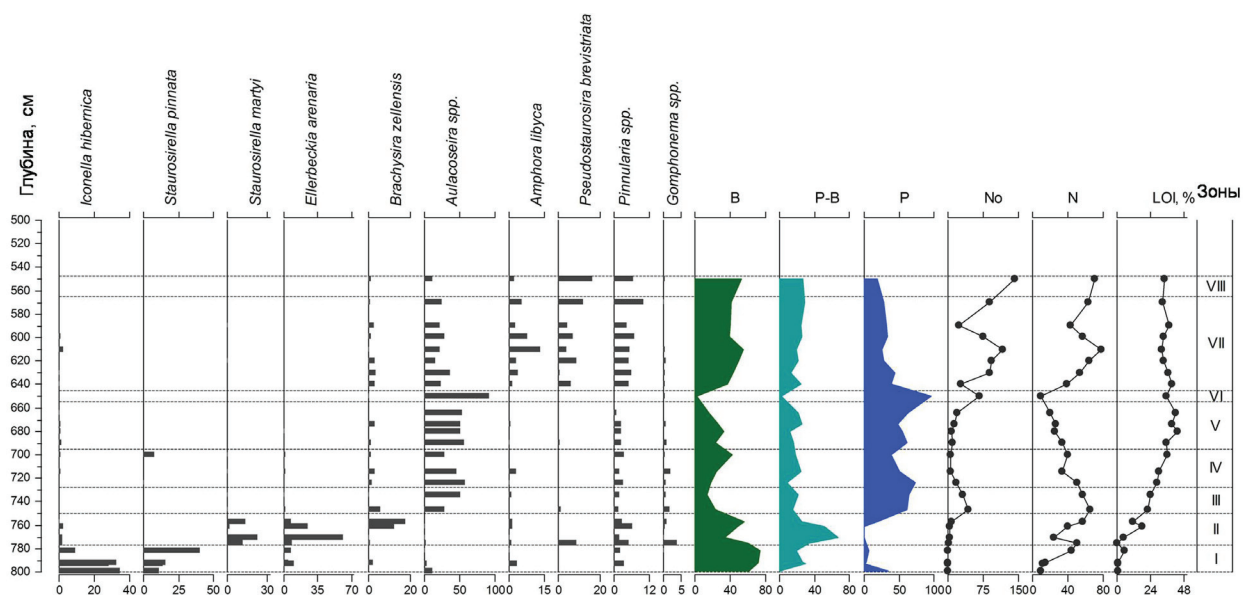


Рис. 2. Диатомовая диаграмма массовых и индикаторных видов (%) осадков безымянного озера в районе палеосейсмодислокации «Чуна», местообитание диатомовых водорослей (B – бентосные, P-B – планктонно-бентосные, P – планктонные), обилие створок в сухом веществе (No, млн ств./г), число таксонов в образце (N), потери при прокаливании (LOI, %)

Fig. 2. Diatom diagram of mass and indicator species (%) of the unnamed lake sediments in the area of the paleo-seismic dislocation «Chuna», habitat of diatoms (B – benthic, P-B – plankto-benthic, P – planktonic), concentration of valves in dry matter (No, n valves $\times$ g-1), number diatom taxa in the sample (N), loss-on-ignition (LOI, %)

Зона 1 (775–800 см) выделена в опесчаненном алеврите, слагающем подошву вскрытых отложений. Содержание диатомовых водорослей минимальное по колонке, 66 тыс. ств./г – 1.8 млн ств./г. Видовое богатство увеличивается к верхней части зоны с 9 до 50 таксонов. В интервале 792–800 см доминируют крупноклеточная *Iconella hibernica* (Ehrb.) Ruck и *Staurosirella pinnata* (Ehrb.) Williams. Состав диатомей указывает на формирование отложений в условиях слабощелочной реакции среды и низкой продуктивности. В верхней части этой зоны (775–792 см) преобладают представители рода *Staurosirella*, присутствует *Ellerbeckia arenaria* (D.Moore ex Ralfs) Dorofeyuk & Kulikovskiy. Бентосные виды преобладают как по относительной численности и общему обилию, так и по количеству видов.

Зона 2 (757–772 см) соотносится с переходной зоной от алеврита к гиттии. Доминируют *Ellerbeckia arenaria*, *Staurosirella martyi* (Héribaud) Morales, *Brachysira zellensis* (Grunow) Round. Наблюдается увеличение содержания органического вещества (ППП до 17 %), общего обилия (3–8 млн ств./г). В слое 771–772 см в составе диатомовых комплексов 61 % приходится на крупноклеточную *Ellerbeckia arenaria*, которая по экологическим предпочтениям относится к индифферентным по отно-

шению к солености воды и к stenothermным (холодолобивым) формам, является индикатором ксеносапробных условий. Диатомовый комплекс указывает на щелочные условия среды. Увеличение показателей видового богатства, общего обилия и содержания органического вещества отражают улучшение климатических условий в конце данного периода.

Зона 3 (724–748 см) представлена гиттией с различными включениями. Слой 747–748 см характеризуется многократным увеличением общего обилия створок (42 млн ств./г), видовое богатство достигает 65 видов, продолжает расти содержание органического вещества (22 %). Происходит смена доминантов: планктонные формы, представленные представителями рода *Aulacoseira*, занимают лидирующее положение и на их долю приходится 60 %. Среди бентосных форм преобладают *Brachysira zellensis* и *Staurosira construens* Ehrenberg. В вышележащих слоях (735–734; 724–725) продолжает увеличиваться содержание органического вещества (до 28 %), а вот общее обилие (18 млн ств./г) и видовое богатство (50 видов) снижаются. Преобладают мелкоклеточные диатомеи родов *Aulacoseira* и *Cyclotella*. Увеличивается количество ломаных створок, сохранены лишь мелкоклеточные створки.

Зона 4 (700–715 см) соотносится с гиттией коричневой неяснослоистой. Общее обилие створок диатомей в отложениях уменьшается до 5 млн ств./г при сохранении возрастающей динамики содержания органического вещества в отложениях (35 %). Видовое богатство снижается до 40 видов. Соотношение планктонных и бентосных видов в слое 700–701 см одинаково и по относительной численности, и по обилию створок. Сохранность створок очень плохая.

Зона 5 (664–691 см) соответствует гиттии слоистой со скоплениями коры березы, растительного детрита, веточек. Наблюдается увеличение общего обилия створок диатомей до 18 млн ств./г, содержание органического вещества по-прежнему увеличивается до 42 %. При этом видовое богатство продолжает снижаться, в слое 664–665 см обнаружено всего 20 таксонов, из которых на долю планктонных видов приходится 63 % и представлены они мелкоклеточными представителями из родов *Aulacoseira* и *Cyclotella*. Единичное присутствие бентосных форм из родов *Cymbella* и *Gomphonema*, клетки которых прикрепляются к субстрату студенистыми ножками, указывает на нарушение условий их обитания, выраженное, возможно, в подвижности субстрата (грунта).

Зона 6 (650–651 см) представлена 9 таксонами, из которых 92 % приходится на планктонные мелкоклеточные *Aulacoseira* sp. Общее обилие составляет 66 млн ств./г, наблюдается незначительное снижение органического вещества в отложениях до 35 %. В целом, в данной зоне продолжается процесс, который вызвал нарушения условий обитания диатомовых водорослей.

Зона 7 (570–641 см) характеризуется увеличением общего обилия створок до слоя 610–611 см (116 млн ств./г) и снижением в вышележащих слоях до 23 млн ств./г в слое 590–591 см. Сходная динамика наблюдается и для видового богатства. Процентное содержание бентосных форм диатомей возрастает, и с глубины 620–621 см они становятся доминирующей группой. Развиваются *Amphora libyca* Ehrb., *Karayevia laterostrata* (Hustedt) Bukhtiyarova, крупноклеточные диатомеи *Surirella robusta* var. *robusta* Ehrb. и *Iconella hibernica*, представители рода *Pinnularia* (*P. biceps* W.Gregory, *P. nodosa* (Ehrenberg) W.Smith). Существенная доля по-прежнему принадлежит планктонным формам, представленным *Aulacoseira* spp. (рис. 2). Сохранность створок хорошая, сохранились целыми даже крупноклеточные створки.

Слой 599–600 и 590–591 см характеризуются снижением общего обилия (до 23 млн ств./г) и видового богатства (до 43 видов) диатомей. В слое 590–591 см сохранность створок плохая, целые лишь мелкоклеточные створки.

Выше в слое 570–571 см наблюдается восстановление спокойных условий. Вновь увеличивается общее обилие (88 млн ств./г) и видовое богатство (63 вида) диатомовых водорослей. Доминирует планктонно-бентосный вид *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow) D.M.Williams, развитие которого отмечено в более теплые периоды голоцена (Podritske, Gajewski, 2007). В группу субдоминантов входят бентосные *Amphora libyca*, *Brachysira brebissonii* R.Ross, *Pinnularia interrupta* W.Smith.

Зона 8 представлена одним слоем 550–551 см. Характеризуется максимальными значениями общего обилия створок (142 млн ств./г) и видового богатства (71 вид) диатомей по всей колон-



Рис. 3. Створки доминантных видов диатомовых водорослей в слое донных отложений 550–551 см. Масштаб 10 мкм

Fig. 3. Valves of dominant species of diatoms in the bottom sediment layer 550–551 cm. Scale bar 10 μ m

ке. К группе доминантов присоединяются бентосные ацидофильные виды: *Brevisira arentii* (Kolbe) Krammer, *Brachysira brebissonii* (рис. 3). Увеличивается содержание видов, характерных для закисленных озер и болот: *Eunotia* spp., *Frustulia* spp., *Pinnularia* spp. (рис. 2).

В двух интервалах колонки донных отложений (664–715, 590–591 см) накопление которых происходило в благоприятные климатические периоды, наблюдалась повышенная фрагментация створок, низкие показатели общего обилия и видового богатства диатомовых водорослей (рис. 2), отражая неблагоприятные условия для развития диатомовой флоры. Такие изменения возможны под воздействием локальных факторов. Подобная динамика в развитии диатомовой флоры была выявлена в безымянном озере на западном побережье оз. Бабинская Имандра (Косова и др., 2020), в котором снижение общего обилия и видового богатства вызвано последствиями землетрясения, в среднем голоцене – 7330 ± 270 – 6440 ± 340 кал. л. н. (Nikolaeva, 2022).

Заключение

Предварительный анализ полученных результатов исследования донных отложений безымянного озера на западном побережье оз. Экостровская Имандра позволило установить особенности условий осадконакопления в течение голоцена. По данным диатомового анализа, в первую очередь, привлекает внимание динамика общего обилия створок диатомей. Низкие показатели на начальных этапах развития озера определялись суровыми климатическими условиями в пребореальный период. Потепление в бореальный период (9800 ± 230 кал. л. н) способствовало увеличению продуктивности озера, росту численности и разнообразия диатомовых водорослей. В дальнейшей динамике выявлено два минимума общего обилия створок и видового богатства диатомей, имеющих плохую сохранность створок. Данные минимумы выделяются в горизонтах донных отложений, состоящих из макро- и микроостатков растений и торфа, не типичных для нормальных условий осадконакопления. Подобные изменения могли возникнуть в результате эрозионных процессов.

К настоящему времени получены две датировки из средней части разреза, а также отображены дополнительные пробы на радиоуглеродный анализ, на основании которого можно будет более определенно говорить о времени формирования осадков.

Благодарности

Мы благодарим за помощь в проведении полевых работ Д. С. Толстоброва (ГИ КНЦ РАН, Апатиты) и А. Н. Королеву (ОИФЗ РАН, Москва).

Работа выполнена в Институте проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН в рамках темы НИР FMEZ-2025-0061 и в Геологическом институте КНЦ РАН в рамках темы НИР FMEZ-2024-0007.

Литература

1. Боровичёв Е. А., Денисов Д. Б., Корнейкова М. В., Исаева Л. Г., Разумовская А. В., Химич Ю. Р., Мелехин А. В., Косова А. Л. Гербарий ИППЭС КНЦ РАН // Труды КНЦ РАН. 2018. Т. 9, № 9–6. С. 179–186. <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.9.179-186>.
2. Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л. Изд-во: Наука, 1985. 244 с.
3. Косова А. Л., Денисов Д. Б., Николаева С. Б. Таксономическое разнообразие диатомовых комплексов голоценовых донных отложений малых водоемов депрессии озера Имандра // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2020. № 1(12). С. 41–50. <https://doi.org/10.24855/BIOSFERA.V12I1.538>.
4. Куликовский М. С., Глущенко А. М., Генкал С. И., Кузнецова И. В. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль. Изд-во: Филигринь, 2016. 804 с.
5. Методы экологических исследований водоемов Арктики: монография / С. С. Сандимиров, Л. П. Кудрявцева, В. А. Даувальтер [и др.]. Мурманск. Изд-во: МГТУ, 2019. 180 с.
6. Николаева С. Б., Никонов А. А. Сейсмогеология Имандровского бассейна – актуальная сводка материалов // Труды Ферсмановской научной сессии. 2019. № 16. С. 433–437. <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.088>.
7. Экологическое состояние озера Имандра: в 2-х томах. Т. 1: Гидролого-геохимические условия / коллектив авторов; под ред. Т. И. Моисеенко, В. А. Даувальтера, С. С. Сандимирова; Институт проблем промышленной экологии Севера; ФИЦ КНЦ РАН. Апатиты. Изд-во: ФИЦ КНЦ РАН, 2023. 221 с.
8. Nikolaeva S. B. Traces of Seismic Activity in the Lake Bottom Sediments of Eastern Fennoscandia // Geodynamics & Tectonophysics. 2022. V. 13, No. 5. P. 5–10. <https://doi.org/doi:10.5800/GT-2022-13-5-0676>.
9. Podritske B., Gajewski K. Diatom community response to multiple scales of Holocene climate variability in a small lake on Victoria Island, NWT, Canada // Quaternary Sci. Rev. 2007. V. 26. P. 3179–3196. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.06.009>.
10. Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2019. <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 15.03.2025).
11. Krammer K. Cymbella // Diatoms of Europe, Diatoms of the European Inland waters and comparable habitats / (Ed.) H. Lange-Bertalot. V. 3. A.R.G. Gantner Verlag K.G., 2002. P. 584.
12. Krammer K. Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocybella // Diatoms of Europe / (Ed.) H. Lange-Bertalot. V. 4. Ruggell: A. R. G. GantnerVerlag K. G., 2003. 530 p.
13. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae, Subwasserflora von Mitteleuropa. V. 2(1–4). Stuttgart/Jena: Gustav Fisher Verlag, 1988–1991.
14. Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M., Cantonati M. Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment / (Eds.) M. Cantonati, M. G. Kelly & H. Lange-Bertalot. Koeltz Botanical Books. 2017. 942 p.