

УДК 551.79(4):551.89

**ПАЛЕОЛИМОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ
ЮЖНОЙ ЧАСТИ БЕЛОМОРО-БАЛТИЙСКОГО ВОДОРАЗДЕЛА****¹Кублицкий Ю.А., ¹Кулькова М.А., ¹Брылкин В.В., ¹Шаталова А.Е., ¹Королёв И.А.,
¹Орлов А.В., ^{1,2}Субетто Д.А., ³Климов С.И., ^{3,4}Шорина Н.В., ³Чупаков А.В.***¹Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
Санкт-Петербург, e-mail: uriy_87@mail.ru;**²Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск, e-mail: Subetto@mail.ru;**³Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН,
Архангельск, e-mail: nvshorina@yandex.ru;**⁴Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск*

Впервые представлены результаты геохимического, литологического анализа и анализа потерь при прокаливании донных отложений оз. Вильно и оз. Масельское. Объекты исследования расположены в южной части Беломоро-Балтийского водораздела и относятся к разным бассейнам. Озера имеют различные источники сноса при накоплении терригенных отложений в результате процессов эрозии. Для водосборного бассейна оз. Масельское наиболее характерны гранитно-гнейсовые породы, а для оз. Вильно – гранат-биотитовые гнейсы. Озера имеют различный гидрологический режим. В оз. Масельское происходит постепенная эвтрофикация, связанная с накоплением биогенных компонентов и замедлением стока. В оз. Вильно неоднократно менялся трофический уровень от олиготрофного до мезотрофного и наоборот из-за частой смены гидрологического режима между проточными и непроточными условиями. По динамике органического вещества и химических элементов установлена динамика природных условий.

Ключевые слова: палеогеография, седиментация, донные отложения, стратиграфия, динамика природных условий, гидрологический режим, геохимия

**PALEOLIMNOLOGICAL RECONSTRUCTION OF NATURAL CONDITIONS
OF THE WHITE SEA-BALTIC WATERSHED****¹Kublitsky U.A., ¹Kulkova M.A., ¹Brylkin V.V., ¹Shatalova A.E., ¹Korolev I.A., ¹Orlov A.V.,
^{1,2}Subetto D.A., ³Klimov S.I., ^{3,4}Shorina N.V., ³Chupakov A.V.***¹Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, e-mail: uriy_87@mail.ru;**²Northern Water Problems Institute, KarRC, Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, e-mail: Subetto@mail.ru;**³Federal Center for Integrated Arctic Research RAS (FCI Arctic RAS),
Arkhangelsk, e-mail: nvshorina@yandex.ru;**⁴Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk*

Studied the dynamics of nature variability of southern part of the White sea-Baltic watershed on the example of lakes of Vilno and Maselga. Lakes have different sources of demolition during the accumulation of terrigenous deposits. The main demolition area for the lake Maselga are granite-gneiss rocks, and for the lake Wilno – garnet-biotite gneisses. Lakes have a different hydrological regime. In the lake Maselga there is a gradual eutrophication of the lake, and the regime of Lake Vilno has repeatedly changed from oligotrophic to mesotrophic and back. On the dynamics of organic matter and chemical elements, reconstruction of climatic conditions was builded.

Keywords: paleolimnology, sedimentation, lake sediments, stratigraphy, dynamics of natural conditions, hydrological regime, geochemistry

Одно из приоритетных направлений в изучении палеогеографии – реконструкция природных условий прошедших эпох, поскольку для понимания современных климатических изменений необходимо детально исследовать климат в прошлом [5]. Одним из способов изучения динамики природных условий является комплексное исследование кернов донных отложений озёр, поскольку они несут в себе важную

информацию о прошлом водоёма, химических и физических процессах, протекавших как в самом водоёме, так и на всем водосборном бассейне [6–8].

В сентябре 2016 г. были проведены полевые исследования на оз. Масельское и оз. Вильно. Озера расположены в Кенозерском национальном парке (юго-западная часть Архангельской области) [1] и отделены друг от друга узкой озовой

грядой, являющейся водоразделом между бассейнами Балтийского и Белого морей [4]. Близкое расположение озер, принадлежащих к водосборам разных морей, даёт возможность изучить процессы формирования донных отложений, выявить сходства и различия условий их существования. Целью исследования является, с одной стороны, установление динамики природных условий в конце плейстоцена и в голоцене, с другой – сравнение седиментационных процессов озер, относящихся к водосборным бассейнам разных морей и океанов.

Материалы и методы исследования

Отбор кернов донных отложений производился при помощи русского бура с плота. На основании замеров глубин озер, выполненных с помощью эхолота Humminbird GPS-Fishfinder 363, были построены батиметрические карты (рис. 1, 2). Извлечённые керны проходили первичное литологическое описание, упаковались в стрейч-плёнку и пластиковые пеналы для транспортировки.

В лабораторных условиях проведен анализ потерь при прокаливании (ППП) по стандартной

методике [10] и геохимический анализ. ППП соотносится с содержанием органического углерода, который, в свою очередь, отражает биопродуктивность водоема [8].

Геохимический анализ проводился по стандартной методике определения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв рентгенофлуоресцентным методом (методика ФР.1.31.2011.09286) для прибора

«СПЕКТРОСКАН МАКС-GV». Данные по химическому составу отложений каждого озера были обработаны методом математической статистики – корреляционным и факторным анализами. Корреляционный анализ позволяет выделить 3 группы химических элементов, с наиболее сильными корреляционными связями, которые отражают определенные геохимические обстановки осадконакопления в озере. Для оценки изменения климата были использованы такие индикаторные соотношения, как $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, Cl/A , которые показывают относительные изменения температуры и влажности [3].

Результаты исследования и их обсуждение

На данный момент геохронологический анализ еще не выполнен, поэтому изменение природных условий привязано не к возрасту, а к стратиграфии отложений.

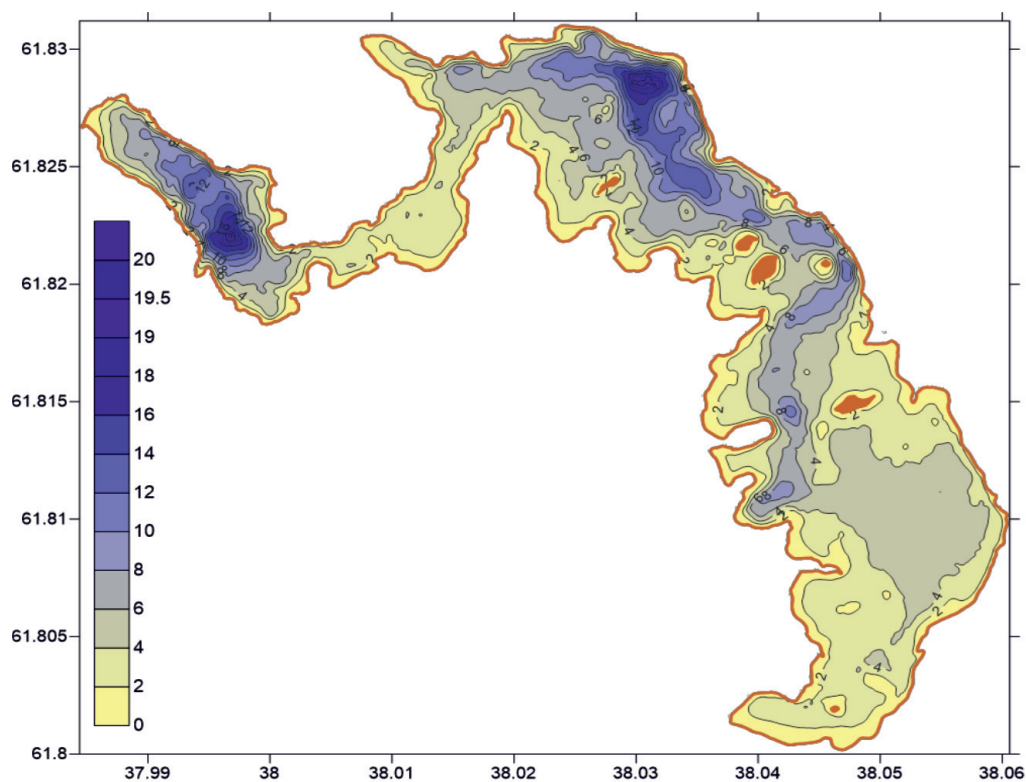


Рис. 1. Батиметрическая карта озера оз. Масельское (представлена лабораторией пресноводных и морских экосистем ИЭПС г. Архангельска, автор С.И. Климов, замеры А.В. Чупакова)

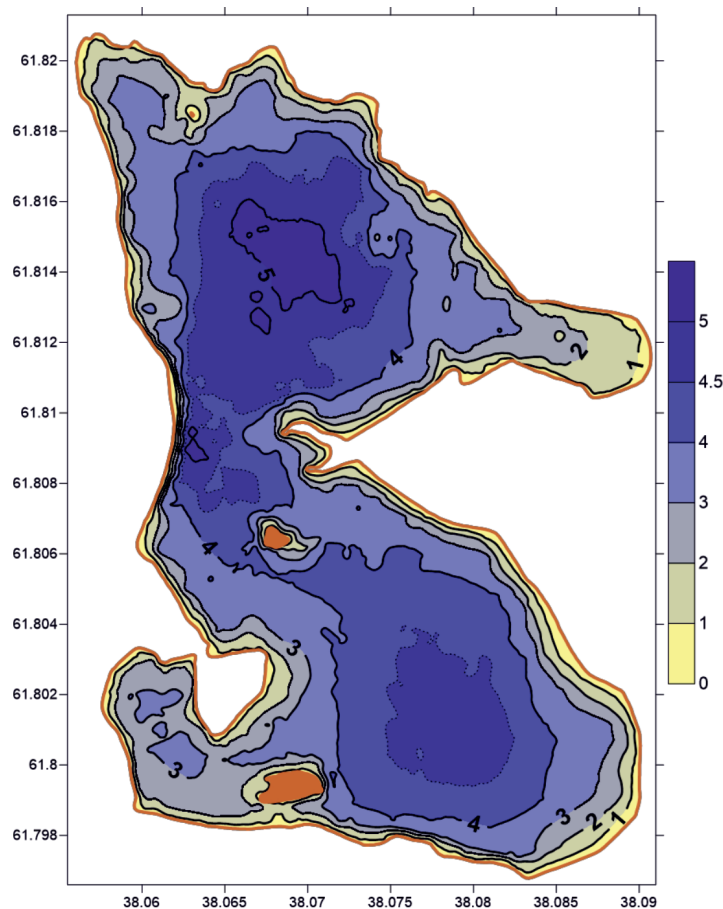


Рис. 2. Батиметрическая карта озера Вильно (представлена лабораторией пресноводных и морских экосистем ИЭПС г. Архангельска, автор С.И. Климов, замеры А.В. Чупакова)

Реконструкция природных условий Балтийского сектора рассматриваемой территории по результатам изучения донных отложений оз. Масельское

В результате статистической обработки результатов геохимического анализа кернов донных отложений оз. Масельское выделено три группы элементов с высокими корреляционными связями и рассчитано два фактора.

1 группа: Al_2O_3 , TiO_2 , Zr, K_2O , Rb, V, Cr – элементы, входящие в состав глинистых минералов и устойчивых минералов.

2 группа: Fe_2O_{3tot} , MnO, Zn, Ni, P_2O_5 , SiO_2 – элементы, характерные для минералов (гидроокислов железа, марганца), образующихся в щелочных, восстановительных условиях, при гниении растительных остатков. Совокупность этих элементов отражает процессы зарастания водоема и его эвтрофикацию.

3 группа: CaO, MgO, Sr – элементы, входящие в состав карбонатов (раковин), биогенные элементы.

Фактор (F1) отражает изменение уровня воды в водоеме, связанное с процессами эвтрофикации, и характеризуется антагонизмом элементов биогенных-эвтрофикаторов к элементам обломочной фракции (P_2O_5 , SiO_2 / TiO_2 , Al_2O_3 , Zr, Nb).

Фактор (F2) отражает изменение биопродуктивности водоема (Fe_2O_3 , Ni, Zn, V / CaO, Sr).

На рис. 3 изображены результаты проведенных анализов и их интерпретация.

Интервал 762–746 см (зона 1) представлен серой опесчаненной глиной с прослоем песка и включениями дресвы. Формирование отложений происходило в глубоководных условиях проточного водоема. Климатические условия можно охарактеризовать, как прохладные и сухие ($CIA = 0,50–0,60$, $Na_2O/K_2O = 1–1,15$, ППП = 1–3%). Наличие

песка указывает на поступление минеральной составляющей в водоем. Крупнозернистый песок, вероятнее всего, начал откладываться после интенсивного таяния мертвого льда, в результате сноса тальми водами освободившегося материала. Положительные значения второго фактора указывают на развитие диатомовых водорослей.

Интервал 746–730 см (зона 2) характеризуется сменой серой глинистой гиттии светло-серой опесчаненной гиттией, также наблюдается изменение размерности песчаной фракции: крупнозернистый песок сменяется мелкозернистым. В данной зоне имеются два прослоя гиттии с примесью плохо разложившейся органики чёрного цвета, в которых были обнаружены довольно крупные фрагменты древесины. Резкое изменение характера отложений в сторону увеличения доли органики в отложениях указывает на быстрые изменения природных условий. По данным геохимических показателей происходит заболачивание водоема, формирование восстановительных условий среды (повышенное содержание Zn, Pb, Fe₂O₃tot), увеличивается щелочность среды (повышенные значения MnO, CaO, Sr), немного уменьшается глубина водоема. На это также указывают положительные значения 1-го и 2-го факторов. Отложения на глубине 746–738 см формировались в условиях сравнительно влажного и теплого климата (CIA повышается до 0,62, Na₂O/K₂O уменьшается до 0,9). На глубине 734–730 см происходит изменение климата в сторону более прохладных и сухих условий (CIA = 0,55–0,58, Na₂O/K₂O = 1,15).

Интервал 730–666 см (зоны 3,4) представлен преимущественно тёмно-оливковой опесчаненной гиттией, сформированной в результате повышения биопродуктивности водоема при сохранении сноса песчаного материала. Формирование отложений происходит в условиях сравнительно теплого и влажного климата (CIA = 0,66–0,70, Na₂O/K₂O = 1,05–0,85). Осадконакопление происходит в достаточно глубоководном, хорошо прогреваемом водоеме, богатом органикой. Отмечаются уменьшение содержания Zn, Pb, Fe₂O₃. Усиливаются процессы эрозии, которые характеризуются увеличением элементов обломочной фракции и устойчивых минералов (Zr, Al₂O₃, SiO₂). Отрицательные значения первого и второго факторов подтверждают это. Резкие изменения режима водоема фиксируются в отложениях на глубине 702 см. В этот период по данным геохимических показателей фик-

сируется резкое изменение климатических условий в сторону сухого и прохладного климата (CIA = 0,63, Na₂O/K₂O = 1,4), уровень водоема высокий, проточные условия (низкие содержания Zn, MnO, повышенные содержания CaO, Sr).

Интервал 666–635 (зона 5) представлен оливковой опесчаненной гиттией. Климатические условия формирования отложений можно охарактеризовать как влажные и теплые (CIA = 0,70–0,71, Na₂O/K₂O = 0,75–0,8, ППП до 62%). На побережье водоема увеличиваются эрозионные процессы, которые ведут к накоплению в водоеме элементов обломочной фракции и тяжелых минералов (Zr, Al₂O₃, TiO₂, отрицательные значения 1-го фактора). Вместе с этим происходит увеличение органической составляющей, происходит переход к более восстановительным и щелочным условиям достаточно глубоководного, хорошо прогреваемого водоема (повышенные концентрации Zn, MnO, положительные значения 2-го фактора).

Интервал 635–582 (зона 6) представлен оливковой гиттией, с постепенным трендом к понижению органического вещества. Примеси песка в данном горизонте отсутствуют, что может быть связано с практически полным прекращением сноса песчаного материала. Усиливаются процессы заболачивания водоема. Подобные изменения седиментации могут быть объяснены наступлением сухого суббореального периода;

Интервал 582–550 см (зона 7) представлен оливковой гиттией. В химическом составе донных отложений большая доля приходится на элементы-эвтрофикаторы (Sr, P₂O₅) и биогенные элементы (CaO, Sr). На процессы эвтрофикации в оз. Масельское указывают также и другие исследователи [2, 9]. На увлажнение климата в этот период указывают увеличение эрозионных процессов (отрицательные значения F1) и накопление элементов терригенного генезиса.

Реконструкция природных условий Беломорского сектора рассматриваемой территории по результатам изучения донных отложений оз. Вильно

В результате статистической обработки результатов геохимического анализа кернов донных отложений оз. Вильно выделено три группы элементов с высокими корреляционными связями и рассчитано два фактора.

Высокие корреляционные связи между элементами Al₂O₃ и Fe₂O₃tot свидетельствуют о том, что железо находится в форме

алюмосиликатов (биотит, монтмориллонит, амфиболы и др.), а не в форме окислов и гидроокислов. Высокие корреляционные связи между элементами MgO и K₂O свидетельствуют, что магний входит в состав таких минералов, как биотит, смектит. Положительные корреляционные связи CaO, K₂O, Na₂O свидетельствуют о том, что эти элементы, входят, главным образом, в состав основных плагиоклазов и полевых шпатов. SiO₂ в составе представленных отложений имеет отрицательные корреляционные связи с Al₂O₃, Zr, Na₂O, K₂O, что позволяет утверждать, что его основной источник – это биогенный кремнезем, образующийся в результате деятельности диатомовых водорослей. SiO₂ также имеет высокую положительную корреляцию с Zn, что показывает, что их совместное накопление могло происходить в восстановительных условиях. Положительные корреляции SiO₂ с группой элементов (MnO, Ni, P₂O₅) также свидетельствуют о биогенном характере кремнезема.

Al₂O₃, TiO₂, Zr, K₂O, Rb, V, Cr, Fe₂O₃_{tot}, CaO, – элементы, входящие в состав глинистых минералов и устойчивых выветриванию минералов.

MnO, Zn, Ni, P₂O₅, – элементы, характерные для минералов, образующихся в щелочных, восстановительных условиях, при гниении растительных остатков. Совокупность этих элементов отражает процессы зарастания водоема и его эвтрофикации.

SiO₂, Zn – в данном случае, эти элементы относятся к биогенным элементам и связаны с отложением биогенного кремнезема.

Фактор (F1) отражает изменение уровня воды в водоеме, связанное с процессами трансгрессии/регрессии и увеличением биопродуктивности, и характеризуется антагонизмом элементов (SiO₂) биогенного кремнезема к элементам обломочной фракции (TiO₂, Al₂O₃, Zr, Fe₂O₃, K₂O).

Фактор (F2) (MgO, K₂O, CaO, Na₂O/MnO, Ni, Zn, Cu, P₂O₅) отражает изменение эвтрофикации водоема.

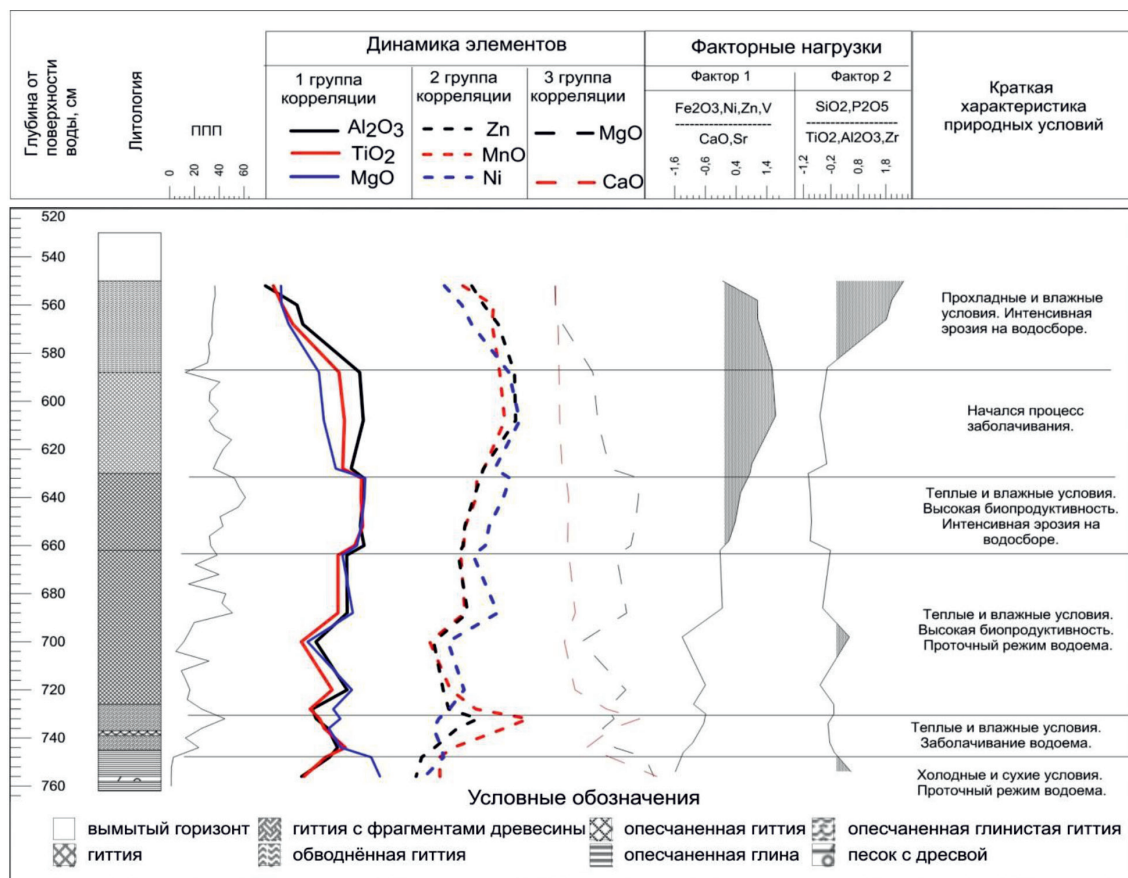


Рис. 3. Реконструкция природных условий Балтийского сектора рассматриваемой территории по результатам изучения донных отложений оз. Масельское

На рис. 4 изображены результаты геохимического анализа озера Вильно.

980–950 см – представлен глинистой гиттией. Формирование отложений происходило в проточном водоеме, наблюдается высокий уровень эрозии и сноса материала в водоем (отрицательные значения F1, показывающие накопление терригенной составляющей – TiO_2 , Al_2O_3 , Zr, Fe_2O_3 , K_2O).

Климатические условия можно охарактеризовать как влажные и прохладные ($CIA = 0,70-0,72$, $Na_2O/K_2O = 0,4-0,45$).

Интервал 950–940 см – темно-оливковая гиттия. Бессточный водоем, происходит накопление биогенных компонентов – SiO_2 , P_2O_5 (положительные значения F1 и F2). Условия становятся более сухими ($CIA = 0,69-0,7$, $Na_2O/K_2O = 0,4-0,46$).

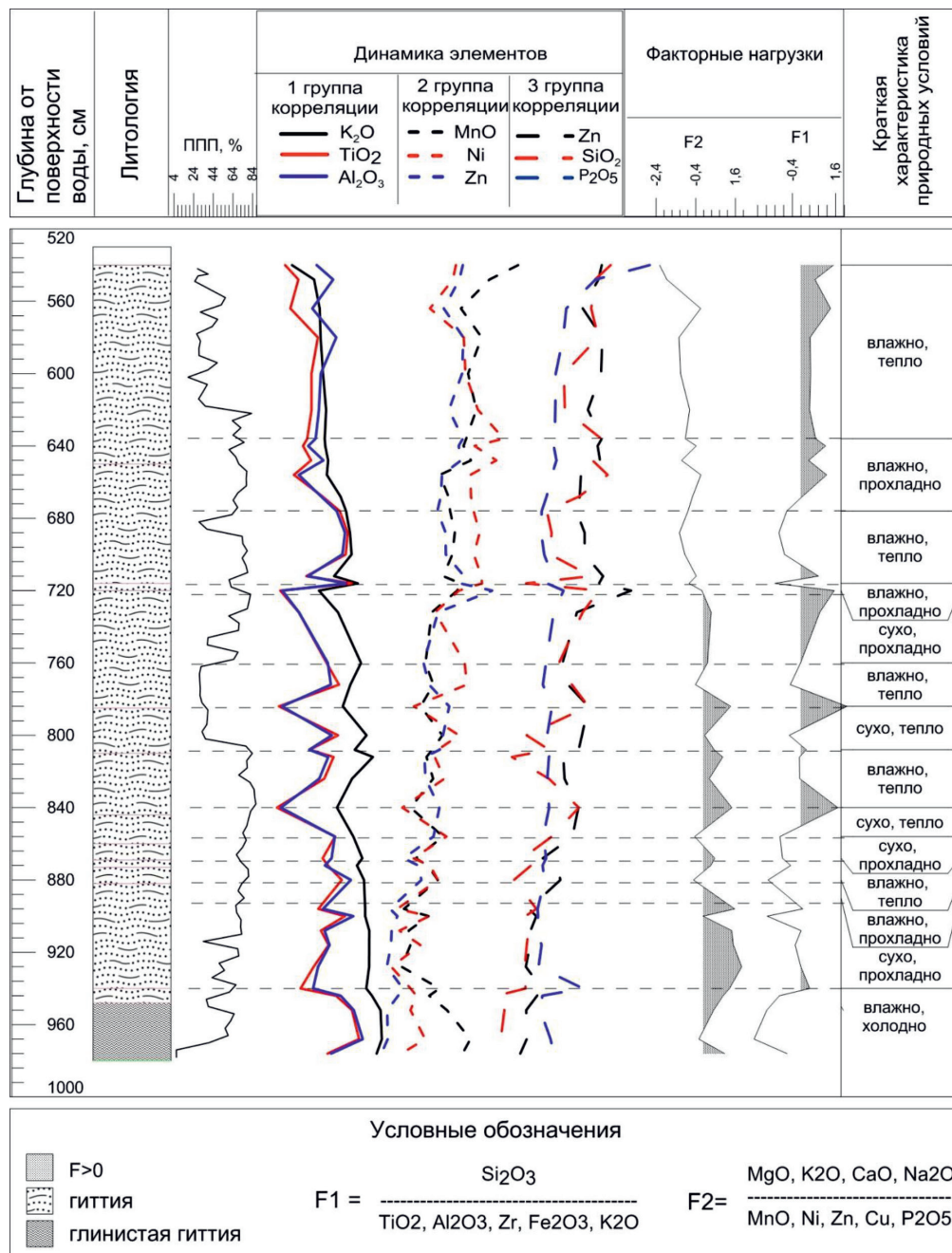


Рис. 4. Реконструкция природных условий Беломорского сектора рассматриваемой территории по результатам изучения донных отложений оз. Вильно

Интервал 940–890 см – представлен оливковой гиттией. Увеличение уровня воды и проточности (отрицательные значения F1 и положительные значения F2). Климат становится более влажным, увеличивается эрозия и уровень сноса (повышенные концентрации элементов терригенной составляющей). Осадконакопление в нижних слоях происходит в более теплых и сухих условиях, отложения в верхней части прослоя становятся более влажными и холодными (CIA = 0,70–0,72, Na₂O/K₂O = 0,53–0,46).

Интервал 890–880 см – представлен светло-оливковой гиттией. Увеличение влажности (CIA = 0,73, Na₂O/K₂O = 0,41), небольшое изменение в сторону более теплых климатических условий, увеличение проточности водоема (отрицательные значения F1), уменьшение уровня воды, эвтрофикация (отрицательные значения F2).

Интервал 880–872 см – представлен серовато-коричневой гиттией. Происходит увеличение глубины и проточности водоема (отрицательные значения F1, положительные значения F2). Климат влажный и теплый (CIA = 0,71, Na₂O/K₂O = 0,29).

Интервал 872–868 см – оливковая гиттия. Условия аналогичные предыдущим.

868–856 см – представлен светло-оливковой гиттией. Отрицательные значения F1 и F2 показывают, что уровень воды в водоеме немного уменьшается, тем не менее, он характеризуется повышенной проточностью и накоплением терригенных компонентов. Климат становится более сухим и прохладным (CIA = 0,70, Na₂O/K₂O = 0,46).

Интервал 856–840 см – представлен оливковой гиттией. Положительные значения F1 и F2 свидетельствуют о глубоководном водоеме, с высоким уровнем биопродуктивности (повышенные значения SiO₂ biog). Климатические условия сухие и более теплые, чем в предыдущий период (CIA = 0,68, Na₂O/K₂O = 0,41).

Интервал 840–804 см – представлен оливковой гиттией. Отрицательные значения F1, и положительные значения F2 показывают, что увеличивается глубина водоема, проточность и накопление терригенных компонентов в процессе эрозии. Климат влажный и теплый (CIA = 0,71–0,73, Na₂O/K₂O = 0,37–0,3).

Интервал 804–784 см – представлен коричневой гиттией. Условия осадконакопления резко изменяются на глубине 788 см и характеризуются положительными значениями F1 и F2, что указывает на повышение

уровня биопродуктивности водоема и увеличение глубины водоема. Климатические условия характеризуются как теплые и сухие (CIA = 0,69, Na₂O/K₂O = 0,33).

Интервал 784–760 см – представлен серовато-коричневой гиттией. Климатические условия влажные и теплые (CIA = 0,74, Na₂O/K₂O = 0,27). Уровень водоема немного увеличивается, продуктивность растет.

Интервал 760–720 см – представлен серовато-коричневой гиттией. Климат становится более сухой и прохладный (CIA = 0,70–0,68, Na₂O/K₂O = 0,47–0,52). Водоем с повышенной биопродуктивностью, высоким уровнем воды.

Интервал 720–716 см характеризуется переходом от серовато-коричневой к светло-коричневой гиттии. Происходит резкое изменение уровня воды в водоеме. Уровень водоема понижается, продуктивность падает, увеличивается эвтрофикация (отрицательные значения F1, F2), повышается эрозия и количество терригенного материала в отложениях. Климатические условия характеризуются как влажные и прохладные (CIA = 0,73, Na₂O/K₂O = 0,50).

Интервал 716–676 см – представлен светло-коричневой гиттией. Происходит уменьшение уровня водоема и эвтрофикация (отрицательные значения F1, F2), увеличение процессов эрозии и накопления терригенных минералов. Климатические условия влажные и теплые (CIA = 0,72–0,76, Na₂O/K₂O = 0,26–0,36).

Интервал 676–636 см – представлен светло-коричневой гиттией. Уменьшение уровня воды, уменьшение проточности, эвтрофикация водоема (положительные значения F1, отрицательные значения F2). Климат влажный и достаточно прохладный (CIA = 0,71–0,73, Na₂O/K₂O = 0,6–0,43).

Интервал 636–540 см – представлен коричневой гиттией. Происходит дальнейшее уменьшение уровня воды и эвтрофикация водоема (положительные значения F1, отрицательные значения F2). Климат влажный, потепление (CIA = 0,74–0,78, Na₂O/K₂O = 0,47–0,34).

Выводы

Сравнивая динамику ППП и геохимический состав донных отложений озёр оз. Масельгское и Вильно, можно прийти к следующим выводам.

Озера имеют различные источники сноса при накоплении терригенных отложений в результате процессов эрозии. Для водосборного бассейна оз. Масельгское наибо-

лее характерны гранитно-гнейсовые породы, в то время как область сноса оз. Вильно, наиболее вероятно, сложена беломоридами, представленными, в основном, гранат-биотитовыми гнейсами, амфиболитами, а также чарнокитами и анортозитами.

В бассейне оз. Масельгское происходит небольшое накопление хемогенных карбонатов, в отличие от осадконакопления в оз. Вильно, возможно, это связано с тем, что в водосборном бассейне оз. Масельгское присутствуют породы, богатые карбонатами (например, моренные отложения). В целом, содержание карбонатов очень низкое.

Озера имеют различный гидрологический режим. В оз. Масельгское происходит постепенная эвтрофикация озера, связанная с накоплением биогенных компонентов и замедлением стока. В данной части озера от мезотрофного бассейна озеро переходит к эвтрофному режиму.

В оз. Вильно происходит частая смена гидрологического режима между проточными и непроточными условиями на протяжении всего осадконакопления, поэтому режим озера изменяется от олиготрофного до мезотрофного и наоборот, признаки эвтрофикации проявляются только в верхнем горизонте донных отложений. В периоды повышения уровня воды в отложениях накапливается биогенный кремнезем, который связан с развитием диатомовых водорослей. Проточные условия озера соответствуют накоплению терригенной составляющей в результате эрозийных процессов на побережье. Мелководные и непроточные условия соответствуют накоплению биогенной составляющей (растительных остатков). Увеличение влажности усиливает процессы эрозии на побережье, и снос в озеро терригенных, аллохтонных минералов. Увеличение температуры способствует увеличению биопродуктивности водоема и накоплению биогенного кремнезема.

Авторы статьи выражают искреннюю признательность учебно-исследовательской лаборатории геохимии окружающей среды им. А.Е. Ферсмана и администрации Кенозерского национального парка за обе-

спечение комфортных условий и помощь в проведении исследовательских работ. Исследование проводилось при поддержке РФФИ № 13-05-41457 РГО.

Список литературы

1. Брылкин В.В. Кенозерский национальный парк: на стыке двух морей и океанов [Текст] / В.В. Брылкин, И.А. Королёв, Ю.А. Кублицкий, А.В. Орлов, А.Е. Шаталова // IV международная научно-практическая конференция «Природное и культурное наследие: междисциплинарные исследования, сохранение и развитие» РГПУ им. А.И. Герцена. – СПб., 2016. – С. 72–74.
2. Воробьева Т.Я. Оценка экологического состояния озер Кенозерского Национального парка (Архангельская область) [Текст] / Т.Я. Воробьева, О.Ю. Морева, Е.И. Собко, Л.С. Широкова, С.А. Забелина, С.И. Климов, Н.В. Шорина, О.С. Покровский, А.А. Ершова, А.В. Чупаков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара: СНЦ РАН, 2013. – С. 825–831.
3. Интерпретация геохимических данных: Учебное пособие [Текст] / И.В. Скляр и др. / Под ред. Е.В. Склярова. – М.: Интернет Инжиниринг. – 2001. – 288 с.
4. Кенозерский национальный парк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kenozero.ru> (дата обращения: 15.02.2017).
5. Кублицкий Ю.А. Реконструкция изменений природно-климатических обстановок в конце плейстоцена и голоцене по данным геохимического анализа донных отложений оз. Камышовое / Ю.А. Кублицкий, Д.А. Субетто, М.А. Кулькова, О.А. Дружинина, Х.А. Арсланов // Фундаментальные проблемы квартара, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Материалы IX Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода (г. Иркутск, 15–20 сентября 2015 г.). – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. – С. 248–250.
6. Субетто Д.А. Палеолимнологические исследования в Северной Евразии / материалы конференции: Палеолимнология Северной Евразии. Опыт, методология, современное состояние Proceedings of the International Conference. North-Eastern Federal University, Russian Academy of Sciences. – Якутск, 2016. – С. 10–13.
7. Субетто Д.А., Прыткова М.Я. Донные отложения разнотипных водоемов. Методы изучения / ИВПС КарНЦ РАН, ИНОЗ РАН, ФГБОУ ВПО РГПУ им. А.И. Герцена. – Петрозаводск. 2016. – 89 с.
8. Субетто Д.А. Донные отложения озера: палеолимнологические реконструкции / Д.А. Субетто. – СПб: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. – 344 с.
9. Pokrovsky O.S. Size Fractionation of Trace Elements in a Seasonally Stratified Boreal Lake: Control of Organic Matter and Iron Colloids Aquatic Geochemistry / L.S. Широкова, S.A. Zabelina, T.Ya. Vorobieva, O.Yu. Moreva, S.I. Klimov, A.V. Chupakov, N.V. Shorina, N.M. Kokryatskaya, S. Audry, J. Viers, C. Zoutien. – Berlin. New York: Springer, 2012. – V. 2. – P. 115–139.
10. Santisteban J.I. Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments / J.I. Santisteban, R. Mediavilla, E. Lypez-Pamo, C.J. Dabrio, M.B.R. Zapata, M.J.G. Garcia, S. Castano, P.E. Martinez-Alfaro // Journal of Paleolimnology 32. – 2004. – P. 287–299.