

Д. А. Морозов

**РЕКОНСТРУКЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК
РАЗВИТИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО ДАННЫМ ГЕОХИМИИ
ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

Изменение природных обстановок находит свое отражение в составе донных отложений водоемов. Реконструкции параметров палеоэкологических обстановок развития окружающей среды по данным геохимии отложений береговой зоны Финского залива позволяют уточнить закономерности эволюции природной и антропогенной среды региона в голоцене.

Ключевые слова: геохимия, палеоэкология, озерные отложения, закономерности эволюции, голоцен.

D. Morozov

**PALEOECOLOGICAL RECONSTRUCTION OF THE PARAMETERS OF ENVIRONMENT
DEVELOPMENT ACCORDING TO THE GEOCHEMISTRY OF LAKE SEDIMENTS**

The change of natural conditions influences ground sediments of reservoirs. The reconstruction of parameters of paleoecological conditions of the development of the environment according to geochemistry of sediments of the coastal zone of the Gulf of Finland allowed to specify the laws of evolution of the natural and anthropogenous environment of the region in Holocene.

Keywords: geochemistry, paleoecology, lake sediments, trends of evolution, Holocene.

Изменение природных обстановок находит свое отражение в составе донных отложений водоемов. При значительной в масштабе исторического времени продолжительности формирования осадков можно получить наиболее объективную информацию о палеоэкологических обстановках, существовавших не только в самих водоемах, но и на их водосборах, и о соотношении природных и антропогенных факторов, обусловивших возникновение выявленных геохимических особенностей окружающей среды. Актуальность исследования проблемы заключается в необходимости датирования голоценовых отложений с привязкой палеогеографических событий Балтики к хронологическим реперам, так как на сегодняшний день таких данных недостаточно.

Целью исследования является установление временной динамики, факторов, закономерностей и этапов голоценовой эволюции озерных систем методами комплексной геохимической стратификации донных отложений, с радиоуглеродным датированием событий естественной и антропогенной истории.

Изучение характера осадконакопления в озерных бассейнах Лахтинского разлива и озера Ставок, расположенных на побережье Финского залива, дает возможность проследить этапы развития береговой зоны в течение голоцена, оценить трансгрессивно-регрессивные стадии Балтийского моря и их влияние на состав донных отложений. Эти данные позволяют дополнить и расширить существующие представления.

Оз. Лахтинский разлив расположено в Приморском районе Санкт-Петербурга, на северном берегу Невской губы. Озеро принадлежит бассейну Балтийского моря. Река Бобылка является протокой, соединяющей Лахтинский разлив и Невскую губу. Озеро относится к

лагунно-лиманному типу и имеет гидравлическую связь с Финским заливом. Отделено от Невской губы песчаной пересыпью. Образцы из двух скважин были отобраны «Русским буром» с суши северного побережья Лахтинского разлива. Вскрытая мощность отложений составила 660 см. Сводный разрез представлен на рис. 1.

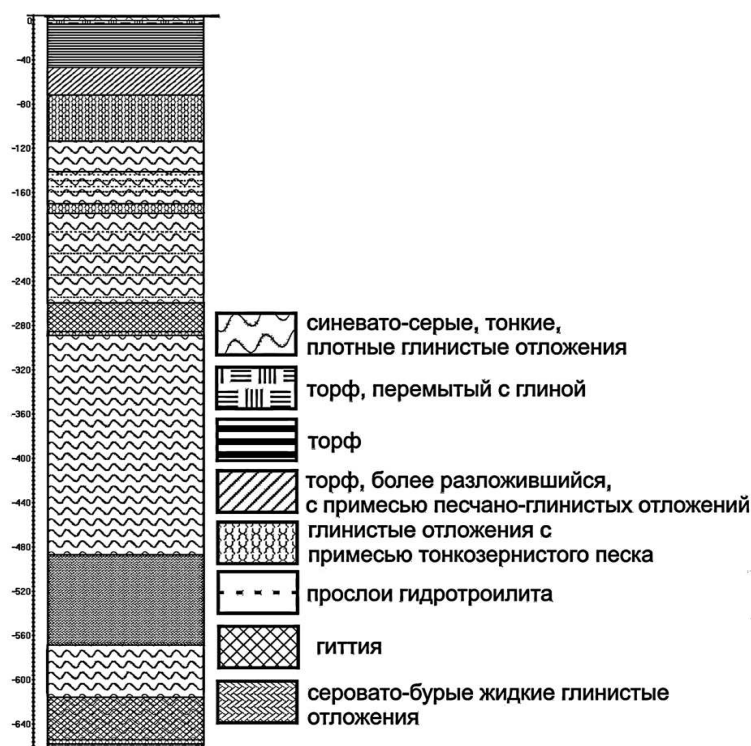


Рис. 1. Сводный разрез донных отложений оз. Лахтинский разлив

1. На глубине 660–655 см вскрываются голубовато-серые тонкие плотные глинистые отложения. Вверх по разрезу они сменяются прослоем светло-серых песчано-глинистых отложений мощностью 4 см.

2. Слой на глубине 651–620 см представлен глинистой гиттией бурого цвета.

3. На глубине 620–288 см залегают голубовато-серые, плотные глинистые отложения с редкими темными прослоями гидротроилита. Отмечаются отдельные включения органики и прослой светло-бурых песчано-глинистых отложений.

4. На глубине 288–260 см — прослой гиттии темно-бурого цвета.

5. 260–178 см — слой голубовато-серых плотных, тонких однородных глинистых отложений с редкими темными прослоями гидротроилита.

6. 178–169 см — светло-желтые отложения тонкозернистого песка.

7. На глубине 169–112 см залегают серые плотные глинистые отложения с синеоватыми прослоями (161–140 см).

8. 112–92 см — серые тонко-песчаные отложения с редкими бурыми прослоями.

9. 92–73 см — прослой темно-серых песчано-глинистых слоистых отложений.

10. 73–6 см вскрывается торфяной горизонт; торф — бурый, в нижних 10 см этого слоя наблюдается увеличение глинистого и тонкопесчаного материала.

11. 6–3 см — голубовато-серые плотные тонкослоистые глинистые отложения.

Оз. Ставок, расположенное на Карельском перешейке, в 6 км от поселка Вещево, также относится к бассейну Балтийского моря. Разрез донных отложений оз. Ставок представлен колонкой мощностью 100 см, взятой с глубины 4,0–5,0 м. Разрез охарактеризован 58 пробами, взятыми через каждые 2 см (первые 16 см разреза — опробование велось каждый сантиметр).

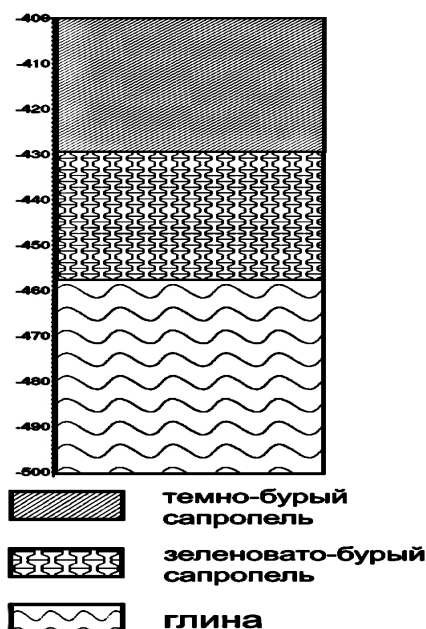


Рис. 2. Разрез донных отложений оз. Ставок

Разрез донных отложений (рис. 2) представлен следующими слоями:

1. На глубине 500–458 см вскрыты глинистые отложения, темно-серые, плотные, тонкие, с выраженной слоистостью и прослоями гидротроилита, без примесей, зона контакта глинистых отложений и выше лежащего слоя мощностью 8 см характеризуются примесью разнотернистого песчаного материала.

2. 458–429 см — зеленовато-бурый сапропель с алевритовой составляющей.

3. 429–400 см — темно-бурый однородный сапропель.

Химический состав отложений был определен методом рентгено-спектрального флуоресцентного анализа. Для датирования отложений, содержащих необходимое количество органического вещества, применялся радиоуглеродный метод. Данные радиоуглеродного датирования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты радиоуглеродного датирования

Лабораторный индекс	Место отбора пробы	Глубина, м	Материал	Результаты датирования*	
				¹⁴ C возраст	кал. возраст 2σ (cal BP)
1. СП6-2	Лахта, скв. IV	6,60–6,90	торф	314±100	
2. СП6-18	Лахта, скв. V	0,07–0,42	торф	современный	
3. СП6-19	Лахта, скв. V	0,43–0,72	торф	2890±100	3268–2790
4. СП6-20	Лахта, скв. V	2,60–2,88	гиттия	9160±150	10746–9891
5. СП6-21	Лахта, скв. V	6,20–6,40	глинистая гиттия	9400±200	11200–10225
6. СП6-82	Ставок	4,23–4,35	гиттия	9050±100	10504 BP; 9890 BP

* Датирование выполнено в Лаборатории геохимии окружающей среды им. А. Е. Ферсмана кафедры геологии и геоэкологии РГПУ им. А. И. Герцена.

Реконструкция палеоэкологических условий седиментации оценивалась по изменению геохимических индикаторов палеосреды. Гидролизатный модуль ($ГМ = Al_2O_3 + Fe_2O_3 / SiO_2$) [2] при изучении терригенных и глинистых отложений позволяет разделять породы, содержа-

шие продукты гидролиза (каолинит, оксиды алюминия, железа, марганца), и кремнезем. Чем выше значения этого модуля, тем более сильное и глубокое выветривание претерпевали породы источников сноса, чем меньше, тем выше зрелость осадочной породы. Аллюмо-кремниевый модуль ($AM = Al_2O_3/SiO_2$) дублирует гидролизатный модуль и также показывает степень зрелости осадочных отложений [2]. Положительная корреляция этих двух модулей показывает на отсутствие чужеродных примесей в отложениях. Значения калиевого модуля ($KM = K_2O/Al_2O_3$) [2] свидетельствуют о минеральном составе глинистой составляющей, о преобладании определенных минералов в отложениях: плагиоклазов, гидрослюда или хлорита. Соотношение Fe/Mn в осадочных отложениях, по данным В. В. Галоты [1], Краускопфа [4], может быть использовано как показатель щелочности среды. Для установления степени выветривания, связанного с увеличением температуры в гумидных зонах [3; 7], использовался индекс химического выветривания $CIA (Al_2O_3/(Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O))$.

Геохимические характеристики осадконакопления в рассматриваемых водоемах

Результаты геохимического изучения толщи донных отложений показывают, что содержание основных породообразующих оксидов соответствует в целом среднему химическому составу глинистых отложений Русской платформы. Некоторые различия обусловлены геохимической спецификой области сноса (Балтийского щита) на разных этапах формирования осадка.

В озере Лахтинский разлив на глубине 650–640 см от поверхности донных отложений залегает глинистая гиттия бурого цвета, которая переходит в темно-коричневую гиттию (640–620 см). Отложения характеризуются низкими значениями ГМ и АМ показателей, что свидетельствует о незрелости поступающего материала из зоны сноса, и низкими значениями СІА, что указывает на большую степень физического выветривания. Повышенные значения КМ модуля (рис. 3) характеризуют преобладание гидрослюда и хлорита в составе отложений, а также появление полевошпатовых минералов. Отложения на глубине 640–620 см характеризуются увеличением значений Fe/Mn показателя, что отражает кислые восстановительные условия седиментации, связанные с поступлением органического вещества в состав отложений. Пониженные значения ГМ свидетельствуют о том, что железо входит в состав органоминеральных комплексов и терригенных минералов, а не образует гидроокислы железа. Эти данные позволяют предположить, что формирование отложений происходило в зоне мелководного, богатого органикой водоема, в период прохладного и сухого климата.

На глубине 620–290 см залегают голубовато-серые, плотные глинистые отложения. Они характеризуются уменьшением значений КМ, увеличением показателей АМ, ГМ, СІА. Можно отметить, что на этом этапе седиментации происходит увеличение степени зрелости поступающего материала и увеличение интенсивности химического выветривания. В составе отложений преобладают гидрослюдистые минералы. Появление прослоев гидротроилита в глинистых отложениях свидетельствует о преобладании восстановительных условий в достаточно глубоководном водоеме, которые могут быть созданы в морской среде под действием сульфатредуцирующих бактерий. Увеличение значений Fe/Mn показателя в этих прослоях на фоне низких значений в глинистых отложениях подтверждает этот вывод.

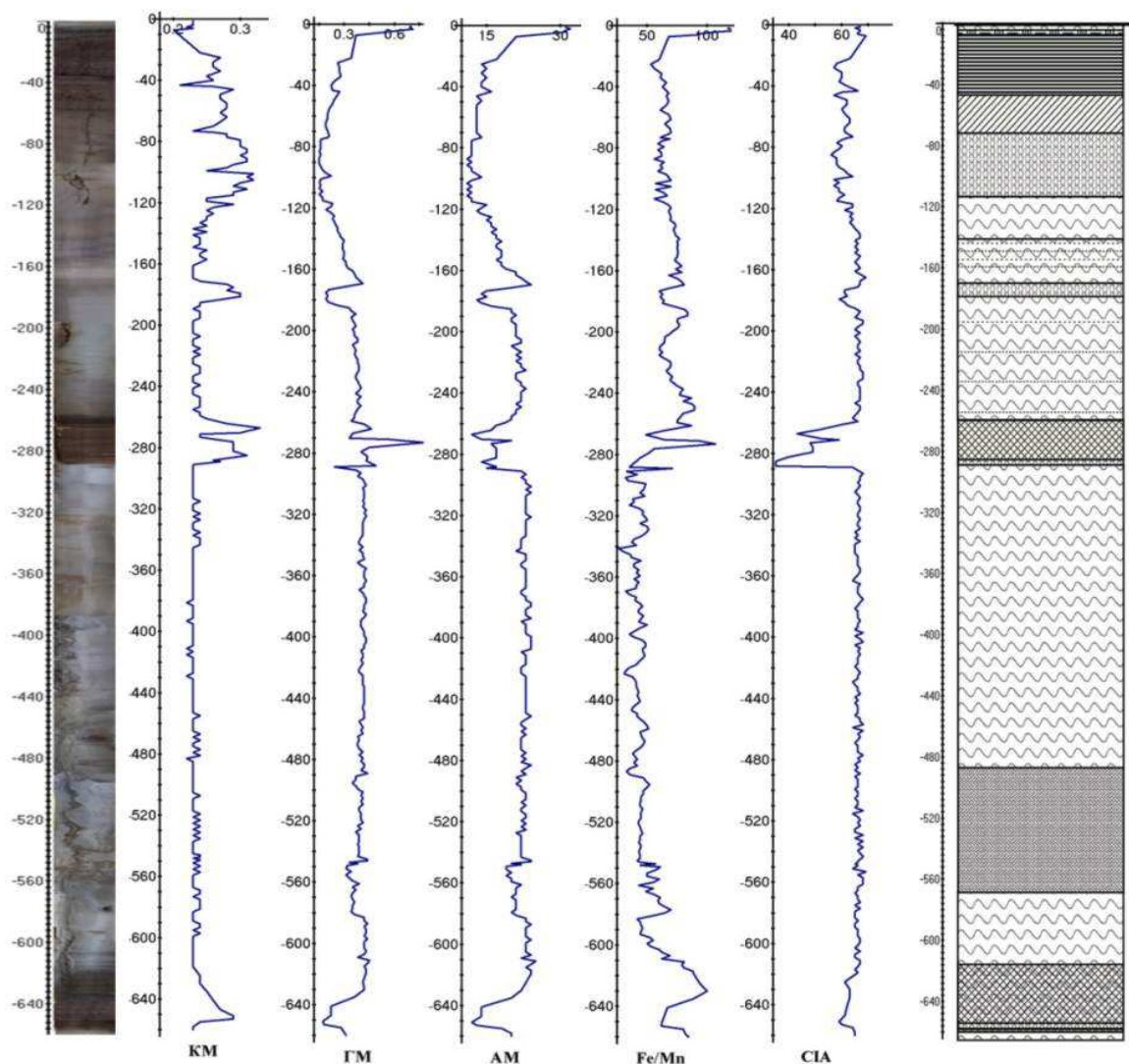


Рис. 3. Значения геохимических модулей
в отложениях оз. Лахтинский разлив

На глубине 288 см происходит изменение условий осадконакоплений, появляются отложения гиттии темно-бурого цвета (288–260 см). Для этих отложений характерно увеличение КМ показателя, что дает возможность предположить увеличение полевошпатовой составляющей в составе отложений. Повышенные значения ГМ и уменьшение АМ показателя свидетельствуют о поступлении незрелого материала в состав отложений. Уменьшение значений CIA также свидетельствует о преобладании полевошпатовой составляющей в составе отложений и преобладании физического выветривания над химическим выветриванием. Появление органогенной составляющей в составе отложений и увеличение индекса Fe/Mn может свидетельствовать о восстановительных условиях. Эти данные характеризуют осадконакопление в мелководном, обогащенном органикой водоеме. Следующий этап формирования серо-голубых глинистых отложений на глубине 260–178 см вновь характеризуется увеличением глубины водоема. Осадконакопление тонкозернистого песка на глубине 278–169 см характеризует резкое уменьшение уровня воды, за которым следует вновь

увеличение уровня воды в водоеме, что маркируется отложениями серо-голубых глин на глубине 169–112 см. Дальнейшее уменьшение уровня воды характеризуется увеличением значений показателей КМ, Fe/Mn, уменьшением значений ГМ, АМ, повышением органической составляющей в отложениях на глубине 112–73 см и накоплением торфа на глубине 73–6 см.

Глинистые темно-серые, плотные отложения на глубине 500–458 см в озере Ставок характеризуются низкими значениями КМ и увеличением показателей АМ, ГМ, CIA. В составе отложений преобладают гидрослюдистые минералы. Появление прослоев гидротроилита в глинистых отложениях свидетельствует о преобладании восстановительных условий в достаточно глубоководном морском водоеме (рис. 4). На глубине 458–429 см происходит изменение условий осадконакопления и отложение зеленовато-бурого сапропеля. В нижней части пачки происходит резкое увеличение значений КМ показателя, что связано с появлением полевошпатовой составляющей, уменьшение значений показателей АМ, ГМ свидетельствует о незрелости поступающего осадка. Повышение значений Fe/Mn показателя в слое сапропеля связано с преобладанием восстановительных условий при заболачивании водоема. Отложение однородного темно-бурого сапропеля на глубине 429–400 см характеризуется повышенными значениями КМ, пониженными значениями АМ, ГМ, уменьшением CIA и накоплением неразложившейся органики, что свидетельствует о заторфовывании озера.

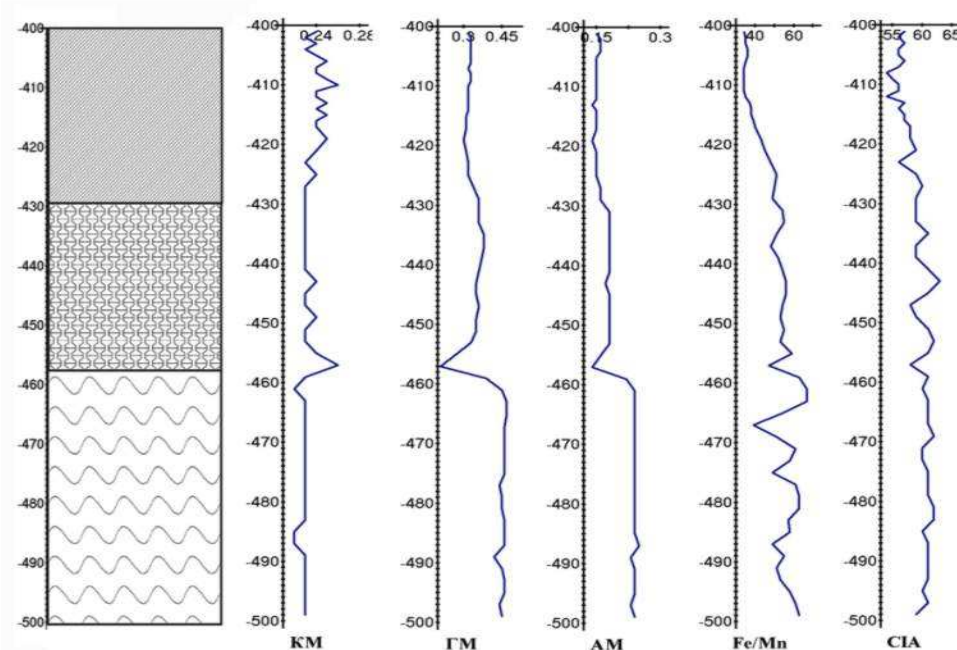


Рис. 4. Значения геохимических модулей в отложениях оз. Ставок

На основе детального изучения разрезов Лахтинского разлива и оз. Ставок удалось выявить общие и индивидуальные черты, характеризующие особенности их развития. Осадконакопление в оз. Лахтинский разлив тесно связано с развитием береговой зоны Финского залива и на начальном этапе озеро представляло его лагунную часть. Формирование нижней пачки отложений оз. Лахтинский разлив, на глубине 660–288 см, началось, по всей видимости, с регрессии Иольдиевого моря, которую маркируют отложения бурой

гиттии на глубине 651–620 см возрастом $9400 \pm 200\text{BP}$ / 11200 cal BP – 10225 cal BP . Дальнейшее увеличение уровня воды в водоеме и формирование глинистых отложений связано со стадией Анциловой трансгрессии. Можно отметить, что формирование глинистых темно-серых отложений на глубине 500–458 см в оз. Ставок, которое в настоящее время расположено на Карельском перешейке, происходит также в условиях глубоководного водоема.

По-видимому, Хейниокский пролив, существовавший до 10950–10550 кал. лет назад, обуславливал высокий уровень воды в гидрологической сети и проникновение вод Балтики в эту зону Карельского перешейка. Анализ геохимических данных глинистых отложений двух разрезов — Лахтинского и Ставка — показал, что примерно на одном уровне значений находятся концентрации большинства химических элементов — Cu, Ni, Cr, Co, Sr, La, Y. В отложениях Лахтинского разреза значения концентраций элементов Zn, Fe, Mn, Ti, Pb, Rb, Nb, Zr несколько выше, чем в отложениях озера Ставок. Максимальные содержания литофильных элементов Nb и Zr отмечаются в отложениях обоих разрезов. В верхней части глинистых отложений, на контакте с гиттией, отмечается формирование песчаного прослоя как в разрезе оз. Лахтинский разлив, так и в разрезе оз. Ставок. Песчаные отложения озера Ставок имеют в составе крупнозернистую фракцию по сравнению с песчаными прослоями отложений оз. Лахтинский разлив, что можно объяснить большей удаленностью Лахты от области сноса в отличие от Ставка.

Следующая стадия развития озер характеризуется накоплением гиттии. В оз. Лахтинский разлив на глубине 288–260 см формирование отложений гиттии, по данным геохимических модулей, происходит в условиях снижения уровня воды. По данным радиоуглеродного анализа, этот слой сформировался около $9160 \pm 150\text{BP}$ / 10746 – 9891 cal BP , т. е. во время Анциловой регрессии. В бассейне оз. Ставок также происходит уменьшение уровня воды, которое маркируется геохимическими показателями. Возраст сапропелевых отложений озера Ставок (гл. 434–422 см) — $9050 \pm 100\text{BP}$ / 10504 – 9890 cal BP , что также соответствует времени Анциловой регрессии. В гиттиевом слое Лахты характерно снижение содержания по всем элементам за исключением Co, Fe. В донных отложениях Ставка картина несколько иная: понижения концентраций отмечаются для большинства элементов, а на том же уровне значений или выше, чем в глинах — по Co, Zn, Mn, Zr.

На следующем этапе формирования донных отложений рассматриваемых разрезов условия осадконакопления носили принципиально разный характер. В оз. Ставок (429–400 см) происходит накопление озерных осадков после того, как прекратилась связь с Балтикой. Они характеризуются низким содержанием большинства элементов, за исключением Co, Mn, Zn, Nb. В оз. Лахтинский разлив происходит образование глубоководных глинистых осадков, содержащих прослой гидротроилита, что характеризует восстановительные, морские условия осадконакопления. Отложения характеризуются повышенными концентрациями Zn, Fe, Mn, Ti, Pb, Rb, Nb, Zr. Эти отложения формируются уже в следующую стадию развития Балтийского моря — Литориновую. По глинистым отложениям, которые сформировались в озере в этот период, достаточно сложно оценить хронологию трансгрессивно-регрессивных стадий Литоринового моря. В оз. Лахтинский разлив на глубине 178–169 см отмечаются мелкозернистые песчаные отложения. Вероятно, прослой песка фиксирует регрессивные внутрилиториновые условия. Регрессия отчетливо маркируется изменением геохимического состава отложений. Минимальные концентрации Cu, Ni, Cr, V, Zn, Co, Fe, Mn и максимальные концентрации Zr приурочены к прослоям с повышенным содержанием песчаной фракции.

По данным разных исследователей, около 3000–4000 лет назад произошел прорыв ладожских вод в Балтику [5]. По нашим данным, в озере Лахтинский разлив это событие не фиксируется. В верхней части разреза донных отложений Лахтинского разлива слой погребенного торфа датируется $2890 \pm 100 \text{ BP} / 3268\text{--}2790 \text{ cal BP}$. Погребенный торф переходит в слой современного торфа, возраст которого составляет примерно 300 лет.

Исследование поверхностного слоя донных отложений Лахтинского разлива показало, что антропогенное воздействие на исследуемую акваторию привело к трансформации природных механизмов дифференциации и к изменениям в геохимической структуре поверхностного слоя донных отложений водоема. Нарушение естественного хода геохимических процессов седиментогенеза проявилось в увеличении в приповерхностной части разреза концентраций большинства исследованных микроэлементов и тяжелых металлов (Zn, Ni, Co, Fe, Cr, V, Ti) [6]. Таким образом, основание и развитие Санкт-Петербурга находит свое отражение и в геохимической истории отложений Лахтинского разлива.

Выводы

Анализ вышеизложенных материалов позволяет констатировать, что данные детальных геохимических исследований по разным природным и антропогенным объектам имеют высокую степень корреляции, что позволяет использовать геохимические данные в случаях, когда применение других методов невозможно или их результаты не презентабельны.

На основе детальных геохимических исследований были выявлены черты, характеризующие особенности формирования донных отложений в естественных и антропогенно-измененных геосистемах береговой зоны Финского залива. Основным источником осадочного материала на протяжении всего голоцена были породы Балтийского щита, в связи с чем отложения озер имеют ряд общих геохимических особенностей. На изменение осадконакопления в озерах также влияют такие факторы, как воздействие климата и интенсивность химического выветривания, степень изоляции водоемов от Балтийского моря, усиление роли антропогенного воздействия. Эти факторы изменяют минералого-геохимические характеристики состава основного источника осадочного материала. Распределение значений ряда петрохимических модулей (АМ, ГМ, КМ, СІА) свидетельствует об изменении физико-географических условий и их влиянии на состав отложений. На заключительном этапе геохимической эволюции Балтийского моря все большее значение приобретает антропогенный фактор. Донные отложения как наиболее стабильный компонент водных систем являются хорошим показателем уровня антропогенной нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голота В. В.* Подготовительная стадия осадочного марганцеворудного процесса. Уфа, 2002. Препринт по дополненному изданию РНТИК «Баштехинформ», 2000.
2. Интерпретация геохимических данных: Учебное пособие / И. В. Складов и др. / Под ред. Е. В. Складова. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
3. *Калик С. А., Мазилев В. Н.* Многомерный анализ в литологии // Литология и полезные ископаемые. 1998. № 3.
4. *Краускопф К. Б.* Разделение марганца и железа в осадочном процессе // Геохимия литогенеза. М.: ИЛ, 1963. С. 294–339.
5. *Кулькова М. А., Сапелко Т. В., Лудикова А. В., Кузнецов Д. Д., Субетто Д. А., Нестеров Е. М., Гусенцова Т. М., Сорокин П. Е.* // Палеогеография и археология стоянок неолита — раннего металла в устье реки Охты (г. Санкт-Петербург) // Изв. РГО. 2010. Т. 142, Вып. 6. С. 13–31.
6. *Нестеров Е. М., Тимиргалеев А. И., Маслова Е. В.* Оценка техногенного воздействия на городскую среду на основе изучения геохимии донных отложений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион: Естественные науки. 2008. № 2. С. 96–99.

7. Schmidt R., Koinig K.A., Thompson R., Kamenik Ch. A multy proxy core study of the last 7000 years of climate and alpine land-use impacts on an Austrian mountain lake (Unterer landschitzsee, Niedere Tauern) // Palaeogeography, Palaeoclimate, Palaeoecology. 2002. Vol. 187. P. 101–120.

REFERENCES

1. Golota V. V. Podgotovitel'naja stadija osadochnogo margantsevorudnogo processa. Ufa, 2002. Preprint po dopolnennomu izdaniju RNTIK «Bashtehinform», 2000.
2. Interpretacija geohimicheskikh dannyh: Uchebnoe posobie / I. V. Skljarov i dr. / Pod red. E. V. Skljarova. M.: Intermet Inzhiniring, 2001. 288 s.
3. Kalik S. A., Mazilov V. N. Mnogomernyj analiz v litologii // Litologija i poleznye iskopaemye, 1998. № 3.
4. Krauskopf K. B. Razdelenie marganca i zheleza v osadochnom protsesse: Geohimija litogeneza. M.: IL, 1963. S. 294–339.
5. Kul'kova M. A., Sapelko T. V., Ludikova A. V., Kuznecov D. D., Subetto D. A., Nesterov E. M., Gusentsova T. M., Sorokin P. E. // Paleogeografija i arheologija stojanok neolita — rannego metalla v ust'e reki Ohty (g.Sankt-Peterburg) //Izv. RGO. 2010. T. 142. Vyp. 6. S. 13–31.
6. Nesterov E. M., Timirgaleev A. I., Maslova E. V. Ocenka tehnogennogo vozdejstvija na gorodskuju sredu na osnove izuchenija geohimii donnyh otlozhenij // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region: Estestvennye nauki. 2008. № 2. S. 96–99.
7. Schmidt R., Koinig K.A., Thompson R., Kamenik Ch. A multy proxy core study of the last 7000 years of climate and alpine land-use impacts on an Austrian mountain lake (Unterer landschitzsee, Niedere Tauern) // Palaeogeography, Palaeoclimate, Palaeoecology. 2002. Vol. 187. P. 101–120.

П. Н. Мавопуло, Д. А. Нестеров

ВЛИЯНИЕ ПАЛЕОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЭВОЛЮЦИЮ ДОИСТОРИЧЕСКОГО ЧЕЛОВЕКА

Современное состояние науки не позволяет в должной мере количественно определить степень влияния факторов окружающей среды на появление и эволюцию человека, хотя важнейшее значение такого влияния для нас несомненно. Уникальные геоэкологические условия, существовавшие на территории Греции с позднемелового времени, создали в разные отрезки геологической истории благоприятные возможности для появления и эволюции человека и его древнейших цивилизаций.

Ключевые слова: эволюция человека, формирование цивилизаций, карст, уникальные условия, теория происхождения человека, изменения окружающей среды, карстовые пещеры.

P. Mavopulo, D. Nesterov

EFFECT OF PALEO GEOENVIRONMENTAL ON THE EVOLUTION OF THE PREHISTORIC MAN

The current state of science does not allow to define quantitatively the extent of the influence of factors of environment on the emergence and evolution of the human, though the major value of such influence is doubtless. The unique geoeological conditions existing in terri-