

# ОТ МОРЯ К ОЗЕРУ: БИОИНДИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Лудикова А.В.<sup>1</sup>

## Введение

Донные отложения озер, в прошлом являвшихся частью морского бассейна, содержат «архив» информации об изменении условий среды при переходе от морских к пресноводным обстановкам. Для реконструкции процесса изоляции используются различные группы индикаторных организмов. В настоящей работе рассмотрены кремнийсодержащие микроорганизмы, которые, благодаря своему составу, хорошо сохраняются в донных отложениях. Одной из индикаторных групп, наиболее широко используемых при изучении смены морских условий пресноводными, являются диатомовые водоросли. Это обусловлено тем, что они 1) широко распространены в водоемах различного типа (пресноводных, солоноводных, морских); при этом 2) для большинства видов четко установлены экологические предпочтения (отношение к солености, трофности, рН и т.д.), и кроме того 3) достаточно детально разработанная систематика позволяет определять видовую принадлежность встречаемых в донных осадках створок диатомей.

Важными, хотя и не столь широко используемыми индикаторными группами, также являются хризофиты и губки. Хризофиты (золотистые водоросли, *Chrysophyceae*) — преимущественно обитают в различных типах пресных водоемов умеренных и арктических широт, однако, отдельные виды встречаются также в морях и соленых озерах. Отличительной особенностью хризофитов является способность формировать окремненные цисты, массово образующиеся при наиболее благоприятных для развития условиях [Sandgren, 1991]. Именно они, как правило, и встречаются в донных отложениях. В палеолимонологических исследованиях в основном используется соотношение «цисты : диатомеи», выраженное в процентах [Smol, 1985].

Губки, (водные беспозвоночные, *Porifera*), широко распространены в морях, в меньшей степени в озерах. Определяющими для развития губок являются условия освещенности, характер и доступность субстрата, гидрохимические и гидродинамические параметры водной среды. В донных отложениях сохраняются скелетные элементы губок — спиккулы.

---

<sup>1</sup> Лудикова А.В. — ФГБУН ИНОЗ РАН, Санкт-Петербург.

Целью настоящей работы стало выявление характерных биоиндикационных признаков изоляции по данным изучения кремнистых микрофоссилий из донных отложений разновозрастных и разновысотных озер Беломорского региона, в прошлом отделившихся от моря.

**Материалы и методы.** В донных отложениях морского, «переходного» и пресноводного этапов развития озер Антюх–Ламбина (северный берег Кандалакшского залива, 59,4 м над у.м.), Большое Корзино, Святое (Соловецкий архипелаг, 17 и 8 м над у.м.; [Субетто и др. 2012]), Столбовое и Коноховское (Онежский полуостров, 15, 8 м над у.м.) проанализированы изменения относительного содержания экологических групп диатомей, индекса флористического разнообразия (ИФР), соотношения «цисты : диатомеи» (%) и отношения «спикулы : диатомеи», а также (при наличии данных) — изменения концентрации указанных групп микрофоссилий в осадках.

**Результаты и обсуждение.** Для наиболее раннего этапа осадконакопления характерно преобладание в составе диатомовых комплексов морских и солоноватоводно-морских, преимущественно бентосных диатомей (*Achnanthes brevipes*, *Grammatophora* spp, *Paralia sulcata*, *Pinnularia ergadensis*, *Rhabdonema* spp и др.), свидетельствующее о формировании осадков в условиях достаточно мелководных морских заливов. Преобладание планктонных океанических видов *Chaetoceros* spp в донных отложениях данного этапа в озере Антюх–Ламбина указывает на значительную глубину бассейна [Лудикова, Греков 2017]. Более высокие значения ИФР, отмечающиеся на этапе морского осадконакопления, очевидно, обусловлены большим разнообразием бентосных местообитаний в условиях мелководных морских заливов, разном створок, а также привнесением планктонных форм из более глубоководных участков. Для данного этапа в целом характерны наименьшие значения соотношения «цисты: диатомеи», и наибольшие значения отношения «спикулы : диатомеи». Преимущественно минеральные отложения этапа морского осадконакопления характеризуются меньшими концентрациями кремнистых микрофоссилий, вероятно, вследствие значительного разбавления терригенным материалом, воздействия течений и т.д..

В отложениях следующего, «переходного», этапа отмечается увеличение доли пресноводных видов диатомей, в первую очередь, мелких обростателей рода *Fragilaria sensu lato*. Эти виды, благодаря способности обитать в широком диапазоне условий, а также быстро адаптироваться к меняющимся условиям среды, массово развиваются в водоемах, изолировавшихся от морских или крупных приледниковых бассейнов [Stabell 1985]. Значения ИФР незначительно

(озера Б. Корзино и Святое) или весьма заметно (Антюх-Ламбина, Конюховское) сокращаются. В последнем случае это является закономерным результатом формирования моно- и олигодоминантных комплексов с преобладанием *Fragilaria* spp. Концентрации створок диатомей и цист хризофитов на этом этапе возрастают, что связано с переходом к преимущественно автохтонному осадконакоплению. Значения соотношения «цисты : диатомеи» также возрастают, вероятно, вследствие увеличения роли пресноводного притока. В свою очередь, доля спикул губок снижается. Можно предположить, что с сокращением поступления морских вод по мере изоляции сокращается и поступление спикул морских губок, в то время как нестабильные условия «переходного» этапа в котловине изоляционного бассейна неблагоприятны для развития здесь местной популяции.

Начало собственно озерного, пресноводного этапа характеризуется присутствием в составе диатомовых комплексов практически исключительно пресноводных видов (до 99–100%). При этом может сохраняться олигодоминирование *Fragilaria* spp. В этом случае значения ИФР будут по-прежнему оставаться низкими. Дальнейшее увеличение концентрации створок диатомей и цист хризофитов (озера Святое, Столбовое, Конюховское), очевидно, связано с установлением автохтонного органогенного осадконакопления, а также ростом продуктивности водоема. Соотношение «цисты: диатомеи» в пресноводной среде продолжает возрастать. При этом в озерах Столбовом и Конюховском в начале озерного этапа возрастают также значения отношения «спикулы : диатомеи», свидетельствуя об установлении условий, благоприятных для развития этой группы организмов.

Выявленные биоиндикационные признаки смены морских условий пресноводными представляют собой ключ к пониманию закономерностей эволюции изоляционных бассейнов. Кроме того, в региональном контексте, применение указанных признаков для установления момента прекращения связи озера с морем, позволяет реконструировать относительное перемещение береговой линии в прошлом. При этом особое внимание должно быть уделено изучению переходного горизонта, как правило, представленного тонкослоистыми осадками. Существует две точки зрения относительно условий их формирования. Согласно первой, накопление тонкослоистых отложений прекращается после полной изоляции от моря [Kjemperud, 1986]. В этом случае время изоляции определяется датированием верхней границы переходного горизонта. Согласно альтернативной гипотезе, начало формирования данного типа осадков, напротив, начинается после того, как морские воды перестают поступать в озерную котловину, где в этот

период устанавливаются меромиктические условия [Corner et Haugane, 1993]. Изоляции от моря, таким образом, соответствует нижняя граница переходного горизонта. Подобное различие в интерпретации может играть существенную роль при построении кривых изменения уровня моря, особенно в тех случаях, когда мощность переходного горизонта значительно превышает несколько сантиметров. Поскольку оба сценария представляются весьма вероятными, в каждом конкретном случае необходимо тщательное изучение отложений переходного этапа, в первую очередь, с целью установления так называемого «диатомологического изоляционного контакта» — горизонта, являвшегося поверхностью раздела между водной толщей и донными осадками, на момент, когда фотическая зона водоема стала пресноводной [Kjempereud 1986]. Однако установление изоляционного контакта по данным диатомового анализа зачастую затруднено массовым развитием мелкоклеточных образцателей рода *Fragilaria sensu lato*, доминирующих в составе диатомовых комплексов в отложениях переходной зоны. Будучи пресноводными, эти виды являются индифферентными по отношению к солености, а «пики» их развития могут отмечаться непосредственно в начале, в ходе или по завершении изоляции [Stabell, 1985]. Так в отложениях переходной зоны в озере Коноховском суммарное содержание *Fragilaria* spp превышает 80–90%.

Для тонкослоистых отложений переходного горизонта озер Большое Корзино и Коноховское (мощностью 0,35 и > 0,4 м, соответственно) был выполнен подсчет створок диатомей без участия *Fragilaria* spp, для того, чтобы выявить степень участия и соотношение других видов в составе диатомовых комплексов. Оба озера на момент изоляции имели достаточную глубину (не менее 5–6 м), чтобы в них могли возникнуть меромиктические условия [Пантюлин, Краснова, 2011]. Применение данного подхода позволило установить, что в озере Коноховском изоляционный контакт приблизительно совпадает с верхней границей тонкослоистых осадков, тогда как в озере Большое Корзино он проходит в средней части тонкослоистой толщи.

## **Заключение**

К основным биоиндикационным признакам процесса изоляции относятся: изменение соотношения экологических групп диатомовых водорослей, снижение ИФР в результате формирования моно- и олигодоминантных диатомовых комплексов, увеличение концентрации створок диатомей и цист хризифитов в осадках, увеличение соотношения «цисты : диатомеи», уменьшение содержания спикул губок. Дальнейшие направления исследования должны включать

изучение современных аналогов — донных отложений озер, находящихся на разных стадиях изоляции. При этом необходимо детальное изучение биоиндикационных сигналов в отложениях меромиктических озер (в том числе с привлечением результатов изучения других групп индикаторных организмов и данных геохимической индикации). Это позволит в будущем более достоверно определять время изоляции, датируя отложения с учетом выявленных сигналов, что в свою очередь, повысит достоверность палеореконструкций.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН по темам №0154-2018-0003 (№гос. регистрации 01201363379) и №0154-2018-0004 (№гос. регистрации 01201363380) и при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты №13-05-01039 и №16-05-00727).

### **Литература**

- [1] *Sandgren C.D.* Chrysophyte reproduction and resting cysts: A paleolimnologist's primer // *Journal of Paleolimnology*, 1991, Vol. 5. — P. 1–9.
- [2] *Smol J.P.* The ratio of diatom frustules to chrysophycean statospores: a useful paleolimnological index // *Hydrobiologia*, 1985, Vol. 123. — P. 199–208.
- [3] *Субетто Д. А., Шевченко В. П., Лудикова А. В., Кузнецов Д. Д., Сапелько Т. В., Лисицын А. П., Евзеров В. Я., ван Беек П., Суо М., Г. Д. Субетто.* Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // *ДАН*, 2012. Т. 446, №2. — С. 183–190.
- [4] *Лудикова А., Греков И.М.* Предварительные результаты диатомового анализа проб донных отложений оз. Антюх-Ламбина (ЮЗ Кольского полуострова) // *География арктических регионов 2017.* — СПб: «Старый город», 2017. — С. 33–36.
- [5] *Stabell B.* The development and succession of taxa within the diatom genus *Fragilaria*.
- [6] *Lyngbye* as a response to basin isolation from the sea / *Boreas*, 1985, Vol. 14. — P. 273–286.
- [7] *Kjemperud, A.* Late Weichselian and Holocene shoreline displacement in the Trondheimsfjord area, central Norway // *Boreas*, 1986, Vol. 15. — P. 61–82.
- [8] *Corner, G.D., Haugane, E.* Marine–lacustrine stratigraphy of raised coastal basins and postglacial sea-level change at Lyngen and Vanna, Troms, northern Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 1993, Vol. 73. — P. 175–197.
- [9] *Пантюлин А.Н., Краснова Е.Д.* Отделяющиеся водоемы Белого моря: новый объект для междисциплинарных исследований // *Геология морей и океанов. Материалы XIX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии.* Т. III. М., 2011. — С. 241–245.