

Д. В. Севастьянов, Е. Д. Сикацкая

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ¹

Донные отложения озер — это особая биокосная структура, которая представляет собой органо-минеральную субстанцию, формирующуюся в озере за счет поступления с водосбора влекомых и взвешенных наносов с поверхностным стоком (аллохтонная составляющая) и образующихся в результате жизнедеятельности озерной экосистемы (автохтонная составляющая). Эти отложения, являющиеся предметом изучения в палеолимнологии, обладают свойством накапливаться в течение многих тысяч лет и сохранять информацию не только о характере седиментации в озере, о видовом составе обитавших в озере гидробионтов, но и об изменениях условий окружающей озеро природной среды. Отметим, что В. И. Вернадский называл донные отложения озер «подводной почвой». Поэтому к анализу озерных отложений, которые содержат органические вещества, подобные гумусу, также применимы методы современного почвоведения. Не случайно, что для реконструкции природных условий геологического прошлого, а также при изучении изменений природной среды исторического времени особое внимание исследователи уделяют *озерным и болотным отложениям*, которые по сравнению с другими генетическими типами континентальных отложений (например, аллювиальными, коллювиальными, ледниковыми и др.) обладают наибольшим *информационным потенциалом*. Это обусловлено целым рядом причин: относительной длительностью существования озерных котловин (многие тысячи лет); накопительной функцией озерных котловин в процессе круговорота вещества и энергии; осаждением в водной массе и накоплением на дне озер разнообразных веществ, приносимых стоком с водосбора и формирующихся в результате функционирования озерной экосистемы.

В итоге в озерных котловинах образуется *особый* генетический тип осадков — *донные озерные отложения*. Они, как известно, обладают такими важными общими свойствами, как органо-минеральный состав, сортированность, слоистость, непрерывность осаждения, локальность накопления в данной озерной котловине и, наконец, наличие *органического вещества (ОВ)*, несущего основной объем информации об окружающей среде.

Озерные отложения изучаются с применением геолого-минералогических, физико-химических, биологических и других методов исследований. Для выявления содержания ОВ в озерных отложениях устанавливают весовые потери при прокаливании (п.п.п., %) или более точно химическим путем определяют количество органического углерода ($C_{орг}$) в осадках. Среди частных методов изучения ОВ донных отложений, которые используются в палеогеографии для реконструкции природных обстановок прошлого, следует отметить микробиологические, биохимические, ботанические, зоологические, радиоизотопные и др. Установление микробиологических особенностей озерных отложений основано на оценке активности содержащейся в них микрофлоры и ферментов. Известно, что обилие микрофлоры в донных отложениях и активность ферментов обусловлены насыщенностью этих осадков продуктами разложения ОВ. Ферменты отличаются строгой специфичностью, катализируя определенные биохимические реакции, в зависимости от конкретных условий среды. В частности, фермент дегидрогеназа является катализатором окислительно-восстановительных процессов, и его активность меняется по ходу накопления толщи озерных осадков, отражая состояние водной среды седиментации.

Кроме того, в палеогеографии широко используются методы изучения ОВ донных отложений, ос-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 01-05-65163).

© Д. В. Севастьянов, Е. Д. Сикацкая, 2003

нованные на выявлении видового состава растительности и животных, обитавших в прошлом в самом озере или на его водосборе, по фрагментам и остаткам растений, по пыльце и спорам, плодам и семенам растений, спикулам губок, раковинам моллюсков, костным фрагментам водных животных и другим биологическим остаткам. Например, диатомовые водоросли — микроскопические одноклеточные организмы, планктонные и бентосные, строение которых отличается от других наличием кремниевого панциря, имеющего сложную структуру. После отмирания диатомей их панцири оседают на дно и захораниваются в донных отложениях, сохраняясь миллионы лет. В определенных геохимических условиях при обильном развитии они образуют пласты диатомитов. Видовой состав диатомовых комплексов отражает условия водной среды их обитания (пресноводные, солоноводные, мелководные, глубоководные, теплые, холодные и др.). Споры и пыльца растений также являются постоянным компонентом ОВ донных отложений, в которых они сохраняются длительное время наряду с створками диатомовых и оогониями харовых водорослей, спикулами губок и раковинами моллюсков.

Изучение структуры изменений ОВ осадочной толщи с помощью активности ферментов, микробиологических тестов, диатомовых, спорово-пыльцевых и других анализов позволяет получить комплексную информацию об условиях седиментации и накопления того или иного слоя осадков, а также о природных условиях «среды обитания озера» в прошлом. Эти и другие специфические свойства озерных отложений и методы их изучения широко рассматриваются при палеолимнологических исследованиях и описаны в ряде работ [1–6].

Однако, как было показано Л. Л. Россолимо [7], накопление ОВ в озерах отличается не только наиболее широким распространением, но и максимальной сложностью, в связи с нестойкостью ОВ и его способностью *минерализовываться* на всех этапах превращений от момента его появления в озере до окончательной стабилизации в глубине донных отложений. В водной среде озер подвергается деструкции до 80% ОВ (первичной продукции). Взвешенные частицы ОВ, образующие сестон, подвергаются активному аэробному распаду. По мере оседания взвесей увеличивается количество разложившихся бесформенных частиц детрита, которые достигают дна. Разложению и частичной минерализации подвергаются ОВ отмирающей прибрежно-водной растительности — макрофитов, а также остатки водных животных. После того как остатки ОВ во взвешенных и коллоидных формах поступают в состав донных отложений, их распад и минерализация продолжают и в анаэробных условиях, при которых особенно велика деструкционная роль бактериальной микрофлоры. Таким образом, количество накапливающихся в озерной котловине ОВ определяется соотношением процессов *продукции* ОВ в экосистеме озера и поступления его извне с поверхностным стоком и процессов *деструкции*, уменьшающих его количество в результате минерализации. Однако в зависимости от условий водной лимнической среды и состава донных отложений глубина, до которой в этих отложениях происходит минерализация ОВ, различна. Специальные исследования показывают, что захороненная на глубине 0,5–1,0 м от поверхности донных отложений часть ОВ выводится из круговорота [8]. Оно почти не подвергается дальнейшей минерализации и содержит «законсервированную» информацию о среде обитания гидробионтов и ландшафтных условиях водосбора. Эта информация способна сохраняться в течение длительного времени в древних толщах донных отложений озер и может быть использована для палеоэкологических реконструкций. В таблице показано изменение количества определенных нами остатков организмов по буровой колонке отложений оз. Суури в Северо-Западном Приладожье. Общее уменьшение доли органических остатков с глубиной отражает потерю количества информации, содержащейся в донных осадках озер.

Следует отметить, что роль автохтонного компонента или основных экологических групп фотосинтезирующих гидробионтов — фитопланктона, фитобентоса и перифитона — различна как по количеству, составу и состоянию ОВ, так и по его распределению в озере. Аллохтонный компонент ОВ, поступающий с поверхностным стоком, в основном представлен окрашенным гумусом в коллоидном состоянии, твердыми остатками

Количество сохранившихся остатков организмов в донных отложениях по разрезу колонки оз. Суури (от максимального в поверхностном слое, %)

Глубина, м	Диатомеи	Остатки высших растений	Золотистые водоросли	Сине-зеленые водоросли	Хлорококковые водоросли	Остатки животных	Прочие
0,00	100	100	100	100	100	100	100
0,10	100	90	60	90	80	80	50
0,20	100	90	40	90	60	75	10
0,30	100	90	20	60	55	60	20
0,40	100	90	20	60	45	55	20
0,50	100	90	20	60	45	55	20
0,60	100	90	20	60	45	55	15
0,70	100	90	15	75	40	65	15
0,80	60	90	15	75	65	65	15
0,90	60	80	17	75	65	65	20
1,00	80	45	20	65	65	65	20
1,10	80	45	20	65	55	65	20
1,20	80	30	20	70	45	55	20
1,30	80	30	20	50	65	65	15
1,40	80	25	15	65	65	70	15
1,50	80	15	13	75	65	75	15
1,60	80	0	10	75	90	65	10
1,70	80	0	25	75	80	55	25
1,80	80	0	25	75	65	45	25
1,90	80	0	0	12	0	0	0

наземной растительности и продуктами механической эрозии почв. В течение исторического времени на качество и количество поступающего в озера аллохтонного ОВ влияет деятельность человека. Существующие методики проведения отдельных видов палеобиологических исследований и комплексного биологического анализа донных отложений озер направлены на выявление видового разнообразия гидробионтов и других живых организмов, обитавших в озере и на его водосборе в период накопления толщ озерных отложений, и используются для реконструкции на этой основе состояния палеосреды их обитания и региональных природных условий [5, 6, 9, 10].

Известно, что озера, как водоемы замедленного водообмена, представляют собой расходно-накопительные системы. Они накапливают вещество, энергию и информацию. Однако аккумулируемая в озерных котловинах водная масса в течение времени полностью заменяется новой за счет стока и испарения. Даже в случаях отсутствия поверхностного стока водообменность бессточных озер осуществляется в течение более длительного отрезка времени, прежде всего за счет испарения с водной поверхности и инфильтрации в берега. Таким образом, именно вследствие водообменности водная масса озера не может рассматриваться как носитель информации о прошлом. Свойства водной массы озера, ее гидрохимические особенности несут информацию только о современном геоэкологическом состоянии озерной экосистемы и ее водосбора.

В отличие от этого донные озерные отложения, которые аккумулируются слоями, год за годом создают непрерывную летопись фоновых природных условий, их последовательных изменений и катастрофических событий, сопутствовавших жизни и функционированию лимносистемы, обладают наибольшей суммарной информацией об озере и среде его обитания. Именно состав и строение верхнего 5-сантиметрового слоя донных отложений озер, который образовался в течение последних десятилетий, являются

наиболее объективными индикаторами природных условий и несут самую полную информацию о состоянии окружающей среды. Это служит убедительным подтверждением существующих представлений о том, что озеро и его водосбор составляют единую природную систему [11].

В донных отложениях, помимо ОВ, происходит накопление и других компонентов, например соединений железа, кальция, кремния и иных минеральных веществ, которые могут иметь аутигенное происхождение или отношение к геохимическому фону водосбора, что нередко осложняет дешифрирование содержащейся в озерных отложениях информации и реконструкцию палеоэкологических условий природной среды. Но, несмотря на непрерывно протекающие в донных отложениях процессы диагенеза и возникающие при этом элементы искажения и диссипации накопленной информации, озерные осадки служат важнейшим источником сведений о природных условиях прошлого.

Современные озера умеренных и тропических широт являются накопителями органо-минеральных осадков, в составе которых количество органического вещества колеблется от 2–8% в крупных олиготрофных озерах и до 30–60% в мелких эвтрофных водоемах. При заболачивании озер и переходе их в дистрофную фазу развития доля ОВ в озерном осадконакоплении может достигать 80–90%. Среди органических остатков могут встречаться преимущественно фрагменты высшей водной растительности или остатки фитопланктона. Озерные осадки, в которых содержание ОВ превышает 30%, обычно относят к сапропелям. Типичные сапропели образуются на дне застойных водоемов в результате разложения обильных остатков растений и животных, при недостатке кислорода или в анаэробных условиях и представляют собой темно-окрашенную илистую массу, нередко с включениями аутигенного гидротроилита и запахом сероводорода [9, 12, 13].

Вопросы накопления информации в природных системах, формы ее фиксации и сохранения, методы нахождения и возможности дешифрирования палеолимнологической информации широко обсуждаются в научных исследованиях геолого-географического профиля. В большинстве палеогеографических и палеолимнологических работ на основе существующих формальных связей между природными процессами и явлениями (например, между определенными типами растительности и климата), пользуясь методом актуализма, исследователи обосновывают созданные ими реконструкции природной среды прошлого. При этом главной информационной основой для палеореконструкций является *ОВ донных озерных отложений*. Однако при палеореконструкциях природных условий, в частности, в полярных широтах и в высокогорье, где природные комплексы и в настоящее время находятся на пределах выживания биологических структур, возникают известные трудности интерпретации состава осадков, обусловленные преобладанием терригенных отложений, спецификой накопления органических остатков и их крайне ограниченным количеством. Минимальное количество органического вещества (1% и менее) может обнаруживаться в отложениях древних приледниковых озер и в осадках современных высокогорных водоемов, расположенных на поверхности ледников и непосредственно у концов ледниковых языков. В составе этого ОВ присутствуют в основном панцири диатомовых водорослей, споры и мицелии грибов, смываемых с поверхности ледников в процессе летнего таяния, а также фрагменты насекомых и пыльца высших растений, попадающие в ледниковые озера эоловым путем, что последний раз доказывает повсеместное существование жизни на Земле в условиях, где есть вода в жидкой фазе.

Важнейшее информационное значение имеет определение общего количества ОВ и видового состава растительных и животных организмов, захороненных в донных от-

ложениях озер. Отметим, что именно *состав* погребенных остатков организмов несет наиболее существенную палеоэкологическую информацию о среде их обитания. Это главный индикатор природных условий прошлого. Кроме того, ОВ служит вещественной основой для датирования вмещающих их осадков по ^{14}C и для изучения хроностратиграфии отложений.

Известно, что существующая теория информации является разделом кибернетики, в котором с помощью математических методов рассматриваются способы измерения количества информации, содержащейся в каких-либо сообщениях, и ее передачи. По определению, информацией следует считать сведения, которые могут быть объектом хранения, переработки и передачи. Информация включает обмен сведениями между людьми и обмен сигналами в животном и растительном мире, передачу генетических признаков от клетки к клетке, от организма к организму. Проблема сохранения информации в природных системах, ее дешифрирования и интерпретации человеком приобретает в настоящее время большое значение, прежде всего в связи с современными глобальными климатическими изменениями и поиском аналогов подобных колебаний климата в геологическом прошлом. К задачам, связанным с этой проблемой, относится выбор наиболее информативных объектов и систем, которые способны *накапливать* и длительное время *сохранять* информацию об изменяющейся окружающей среде.

С наибольшей определенностью можно говорить об экологической информативности озерных отложений и озерных форм рельефа. Донные озерные отложения являются конечным звеном аккумуляции в круговороте вещества, а рельеф (террасы, эрозионные ложбины) фиксирует соотношение аккумулятивно-эрозионных процессов [14–16]. В целях изучения природной среды прошлого и создания детальных палеореконструкций применяются как биологические объекты, так и геологические, минеральные. Достаточно успешно анализируются *слоистые структуры*, создаваемые природными объектами, экосистемами или отдельными организмами. Образование слоистых природных структур отражает ритмику развития объектов в ответ на качественные и количественные изменения окружающей среды. Среди биологических структур наиболее широко исследователи используют кольца деревьев, чешую рыб, рога и кости животных и др., по которым можно определить не только продолжительность жизни объекта, но и некоторые экологические условия его обитания. Однако, вследствие относительно небольшой продолжительности жизни биологических объектов, накопленная ими информация об изменениях окружающей среды весьма ограничена во времени. Например, среди деревьев даже такие долгожители, как *Sequoia gigantea* и некоторые другие хвойные, живут не более 3–4 тыс. лет, как это установлено по годичным слоям прироста. Среди животных максимальная продолжительность жизни отдельных особей не превышает 200–300 лет. После отмирания растительные и животные организмы в большинстве случаев подвергаются гниению и разложению, из-за чего информация, которую содержат их остатки, рассеивается и исчезает.

При изучении слоистых структур минерального происхождения (сталактитов, сталагмитов, кварцевых образований и др.) исследователи относительно достоверно дешифрируют геохимическую, минералогическую и иную информацию об условиях формирования того или иного объекта в геологическом масштабе времени. При этом возникают трудности интерпретации некоторых особенностей возраста объектов.

Как уже отмечалось нами при рассмотрении проблем экологической лимнологии, взаимосвязанные изменения в состоянии лимносистем происходят в ответ на *информационные сигналы* из внешней среды [17]. Такими «сигналами» являются солнечная радиация и освещенность, температуры воздуха и воды, а также комплекс минераль-

ных и органических веществ, поступающих со стоком и атмосферными осадками в озеро и образующихся в нем в результате биохимических реакций в водной среде. Стоковый комплекс, помимо растворенных в воде веществ, отражающих геохимический фон водосбора, составляют аллохтонные влекомые и взвешенные наносы, включающие минеральные частицы, пыльцу и споры растений, а также остатки живых организмов, населявших территорию водосборного бассейна в период накопления этих наносов. Нередко для зоны тайги (в частности, для провинции Балтийского кристаллического щита) характерно формирование в определенных биогеохимических условиях озерных железомарганцевых конкреций [8, 13, 17]. Более широкое географическое распространение имеет образование соединений железа в рассеянном виде в профундали эвтрофных озер, в ожелезненных осадках которых Fe_2O_3 превышает 7% (на абсолютно сухое вещество). Наиболее высокая ожелезненность осадков (более 10% Fe_2O_3) наблюдается в поверхностном слое глинистых илов и кремнеземных (диатомитовых) сапропелей с преобладанием восстановительных условий. В условиях озер Белоруссии это является результатом интенсивной распашки земель, эрозии дерново-подзолистых и подзолистых почв и выноса железа из иллювиального горизонта [17]. Иногда в состав озерных отложений могут попадать даже продукты вулканической деятельности из удаленных областей, выпадавшие с атмосферными осадками. Например, прослой вулканического пепла, обнаруженный в озерных отложениях в Скандинавии, найден и на северо-западе России, и на основании тефрохронологических анализов был соотнесен с продуктами извержения вулкана Катла в Исландии 12 тыс. лет назад [18].

Внешние «сигналы», преобразующиеся в лимносистеме, проявляются в элементах водно-солевого и седиментационного балансов и вызывают в озере соответствующие изменения морфометрических, гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических свойств лимносистемы. Общим результатом происходящих в озере процессов становится формирование слоя донных отложений определенного состава и строения, в котором фиксируются произошедшие изменения. Именно в озерных осадках накапливается и сохраняется *комплексная информация*, включающая сведения о состоянии среды обитания озерных гидробионтов и их видовом составе. Изменения природных условий на территории озерного водосбора, например исчезновение ледников в бассейне озера, приводит к резкой смене характера озерных отложений: от тонких слоистых минеральных озерно-ледниковых глин к органогенным илам. В этом проявляется информационная и индикаторная особенности озер как накопительных систем, которая используется при палеогеографических реконструкциях. Кроме того, озерные террасы — формы рельефа, несущие информацию о колебаниях уровня озер и эрозионно-аккумулятивных циклах, проявлявшихся в прошлом в пределах озерного водосбора.

Накопление осадков в озерных котловинах представляет собой сложный многофакторный процесс. В нем отражаются зональные и аazonальные, эндогенные и экзогенные, природные и антропогенные факторы, проявляющиеся в водосборном бассейне озера. Озерные котловины представляют собой природные седиментационные ловушки на пути транспорта наносов с водосбора. С одной стороны, темпы седиментации зависят от биологической продуктивности озерной экосистемы и вмещающего водоем ландшафта, что обуславливает интенсивность накопления ОВ как функции тепло- и влагообеспеченности и отражает зональные черты ландшафта; с другой стороны, на нее влияет интенсивность поступления в котловину и водоем терригенных продуктов водным и эоловым путями, которые приводят к накоплению преимущественно *минеральных веществ*.

Особенно важное информационное значение имеет ОВ, присутствующее в древних

минеральных отложениях ледникового и послеледникового возраста. Еще в 1879 г. Де Геер, изучавший отложения древних приледниковых озер на территории Швеции, выявил особенности формирования слоистых озерных осадков — ленточных глин. С тех пор считается, что каждая «лента» состоит из пары слоев — нижнего, более мощного (летнего), сложенного мелкозернистым песчаным материалом, и верхнего, более тонкого глинистого (зимнего). Было установлено, что толщина такой годичной «ленты» может быть от долей миллиметра до нескольких миллиметров и до 2–3 см, отражая межгодовые колебания ледникового таяния и стока в прошлом. Ленточные отложения наблюдаются и в современных приледниковых горных озерах. Летом, в период абляции, с ледника стекает поток талых вод, насыщенный взвешенными частицами различных размеров и плотности. Считается, что в течение теплого сезона, в условиях активного турбулентного перемешивания водных масс в приледниковом озере осаждаются более крупные и тяжелые песчаные частицы. В холодный сезон, с окончанием абляции и появлением ледяного покрова на озерах из водной толщи осаждаются наиболее мелкие взвешенные пелитовые и глинистые частицы, в составе которых присутствуют клетки фитопланктона (в основном диатомовые). Так образуются годичные двухслойные ленты, или «варвы», — типичные *лимно-гляциальные осадки*. Подобно формированию годичных колец деревьев, в холодные годы с коротким периодом абляции возникают тонкие ленты, а в более теплые годы — более толстые. Со временем они полностью заполняют высокогорные озерные котловины, перекрываются пролювиальными шлейфами и образуют зандровые равнины.

Задача определения скорости осадконакопления в древних водоемах может быть в ряде случаев решена при применении метода радиоуглеродного датирования слоев озерных осадков, содержащих более или менее обильные погребенные остатки водной растительности. Среднюю скорость накопления осадков можно определить в слое озерных отложений между двумя абсолютными датировками, полученными желательнее по однородному органическому материалу. Кроме того, в условиях Арктики и высокогорья в озерном накоплении, как это было показано нами ранее, абсолютно преобладает аллохтонное терригенное вещество, которое поступает в озера с поверхностным и склоновым стоком, за счет элювиально-делювиальных, гравитационных и мерзлотных процессов. Интенсивность проявления экзогенных факторов в горах выше, чем на равнинах, что и объясняет более значительные темпы озерной седиментации и относительно кратковременное существование полярных и высокогорных озер. На высотах более 3 тыс. м скорость осадконакопления колеблется от 0,2–0,5 до 3–5 мм/год, иногда до 1 см/год, в зависимости от состава горных пород в ледниковой области. Кристаллические породы (граниты, базальты) медленнее подвергаются ледниковой абразии и морозному выветриванию и медленнее поддаются денудации, чем породы осадочного комплекса (известняки, сланцы). На основе имеющегося массива датировок, превышающих возраст 3500 лет назад, т. е. «субатлантического периода или позднего голоцена», нами были рассчитаны средние скорости осадконакопления в среднем и позднем голоцене, а также в позднем плейстоцене для тех же горных стран. Было установлено, что в середине голоцена средние скорости озерного осадконакопления были больше современных (до 1,1–1,5 мм/год на Тянь-Шане и Восточном Памире; до 0,9–1,1 мм/год на Монгольском Алтае и Хангае) [15].

Как известно, возросшая в течение «оптимума» голоцена увлажненность в горах Центральной Азии на фоне общего потепления способствовала, с одной стороны, усилению эрозии и денудации гор, а с другой — повышению биологической продуктивности озерных экосистем. Эти обстоятельства обусловили увеличение общего содержания ОВ

в озерных отложениях и наиболее высокие темпы накопления осадков в озерах. Особенно ярко это проявилось во внутригорных и межгорных котловинах, в среднегорье и низкогорье, а также на равнинах.

Многочисленные находки слоев озерных отложений, обогащенных остатками водной растительности, раковинами моллюсков, костями рыб, как в береговых разрезах, так и в буровых колонках донных отложений изученных озер, расположенных на территории Восточно-Европейской равнины, Западной Сибири, на Кавказе, Тянь-Шане и Памире, на Монгольском Алтае и Хангае, указывают на более благоприятные условия функционирования лимносистем в эпоху среднего голоцена (атлантический период) по сравнению с ранним голоценом и современностью [15–19 и др.].

Развитие озер в послеледниковое время протекало в тесной связи с изменениями природной среды на их водосборах. Озера, подобно живым организмам, развивались в изменявшейся ландшафтной среде. Резкое потепление климата на границе позднего плейстоцена и голоцена привело к росту биологической продуктивности ландшафтов и скачкообразному увеличению доли ОВ в составе донных отложений озер. При этом отмечено, что содержание ОВ в составе осадков резко возрастало (п.п.п. увеличивалось от 1 до 18%, а $C_{орг}$ возрастало от 2 до 38%), отражая изменение среды обитания организмов [12, 18, 19]. Последующее постепенное потепление в голоцене сопровождалось медленным, в течение тысячелетий, повышением биологической продуктивности водных экосистем.

Качественный состав ОВ является важным индикатором природных условий. Например, преобладание в осадках древних приледниковых озер *диатомовых водорослей* указывает на малую биопродуктивность холодных и мутных водоемов. Основная часть ОВ отмирающего планктона быстро минерализуется в водной толще, и в донных отложениях накапливается диатомовый кремнезем. Колебания обилия остатков диатомовых комплексов могут объясняться изменениями режима палеоводоемов. Часть тонкопанцирных диатомовых организмов растворяются в водной толще, не доходя до дна, насыщая водную массу раствором SiO_2 . В осадок выпадают характерные комплексы достаточно стойких видов, которые используются специалистами для палеоолимологических реконструкций [20]. *Синезеленые* водоросли в экологическом отношении — это антагонисты диатомей. Вспышки обилия синезеленых в разрезах донных отложений свидетельствуют об обогащении озерных вод биогенными веществами, потеплении водных масс или обмелении водоема. В верхнем слое современных водоемов повсеместно наблюдается изобилие синезеленых, которые успешно развиваются на неразложившемся ОВ, накапливаемом в процессе антропогенной эвтрофикации поверхностных вод. *Золотистые* водоросли не выдерживают даже небольшого повышения минерализации вод и погибают, а при заболачивании водоемов их количество возрастает на фоне сокращения количества диатомовых. *Зеленые* водоросли обычно появляются при обмелении и заторфовывании водоемов наряду с болотными формами диатомей (*Eunotia*, *Pinnularia*). *Губки* хорошо развиваются при наличии кремнезема в воде, обычно в холодных олиготрофных водоемах, в условиях высокой прозрачности, хорошей аэрации и проточности. *Кладоцеры* (ракообразные) имеют не очень прочный хитиновый покров, поэтому в донных осадках обнаруживаются только части их скелетов. Обилие остатков указывает на относительно высокую прозрачность и мезотрофные условия, а вспышки численности могут быть вызваны прогрессирующим зарастанием и обмелением водоемов. *Остракоды* (ракушечные) характеризуют карбонатные, жесткие воды, что обычно связано с геохимическим фоном водосбора. *Хиронамиды* (личинки насекомых) в донных отложениях встречаются в виде фрагментов хитиновых оболочек, обилие которых

наряду с другими факторами может быть обусловлено высокой биопродуктивностью и биоразнообразием водоемов на мезотрофно-эвтрофной стадии развития. *Пыльца и споры* растений, накапливающиеся в донных отложениях озер, характеризуют флористический состав ландшафтов водосбора. Изменение палинологических спектров в осадках во времени отражает смену климатических обстановок палеосреды: в условиях Северо-Запада России — от приледниковой тундро-степной до широколиственной и смешанной растительности, типичной для ландшафтов умеренного климатического пояса.

Активная хозяйственная деятельность, проявившаяся на протяжении исторического времени, существенно изменяла водосборы озер и естественный ход развития водоемов. На месте лесов появлялись вырубки и пашни, природные ландшафты сменялись культурными. Все изменения непременно отражались на характере осадконакопления в водоемах. Основными индикаторами, отражающими нарушение хода естественной эволюции лимносистем, следует считать изменения в литологии и стратиграфии осадков, в химическом составе и строении их органической и зольной частей, а также резкие скачки в численности и составе диатомовой флоры, палинологических и других характеристик органогенной части донных отложений.

Таким образом, индикационная роль ОВ в донных отложениях озер заключается в генетической связи его образования с условиями окружающей среды. Качественный и количественный составы ОВ донных отложений озер формируются под воздействием совокупности разнообразных внешних природных факторов и биогеохимических условий в самих водоемах. Все вещества, поступающие в донные отложения водоемов, преобразуются в процессе диагенеза и формируют озерные осадки. Погребенное в них ОВ является не только индикатором условий обитания самих гидробионтов, но и отражает геоэкологические условия водосборного бассейна.

Summary

Sevastjanov D.V., Sikatskaya E.D. Organic substance in ground sediments of lakes as an indicator of the environment condition.

Organic substance accumulation in lake ground sediments and its transformation with time are considered. Their importance as the data on the environment is discussed. It is shown, that qualitative structure of organic substance of lake adjournment is indicative of the environment during sediment accumulation.

Литература

1. Клейменова Г. И., Горбовская А. Д., Севастьянов Д. В. Палеогеография и палеоэкология озерных геосистем Северо-Западного Приладожья // География и современность / Под ред. С. В. Лаврова, Ю. П. Селиверстова. СПб., 1999. Вып. 8.
2. История озер СССР. Общие закономерности возникновения и эволюции озер. Методы изучения истории озер / Отв. ред. Д. Д. Квасов. Л., 1986.
3. Севастьянов Д. В., Субетто Д. А., Арсланов Х.-А. и др. Процессы седиментации в озерно-болотных геосистемах северо-западного Приладожья // Изв. Русск. геогр. об-ва. 1996. Т. 128, вып. 5.
4. Субетто Д. А., Давыдова Н. Н., Вольфарат Б., Арсланов Х. А. Лито-, био- и хроностратиграфия озерных отложений Карельского перешейка на границе позднего плейстоцена — голоцена // Изв. Русск. геогр. об-ва. 1999. Т. 131, вып. 5.
5. Успенская О. Н. История озера Белое (Московская обл.), восстановленная по данным биологического анализа // Бот. журн. 1980. Т. 65, № 1.
6. Сикацкая Е. Д. Голоценовая динамика альгофлоры оз. Суури по результатам изучения донных отложений // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: Геология, география. 1999. Вып. 4 (№ 28).
7. Россолимо Л. Л. Озерное накопление органического вещества и возможности его типизации // Типология озерного накопления органического вещества / Под ред. Л. Л. Россолимо. М., 1976.
8. Кузнецов С. И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. Л., 1970.
9. Кордэ Н. В. Биостратиграфия и типология русских сапропелей. М., 1960.
10. Клейменова Г. И. Извлечение из микропалеонтологических исследований экологической информации и ее анализ // Проблемы эколого-географической оценки состояния природной среды /

Под ред. П. П. Арапова, Ю. П. Селиверстова. СПб., 1994. 11. *Драбкова В. Г., Сорокин И. Н.* Озеро и его водосбор — единая природная система. Л., 1979. 12. *Субетто Д. А., Севастьянов Д. В., Савельева Л. А., Арсланов Х. А.* Донные отложения озер Ленинградской области как летопись балтийских трансгрессий и регрессий // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: Геология, география. 2002. Вып. 4 (№ 31). 13. *Лопух П. С.* Закономерности развития природы водоемов замедленного водообмена, их использование и охрана. Минск, 2000. 14. *Страхов Н. М., Бродская Н. Г., Князева Л. М.* и др. Образование осадков в современных водоемах. М., 1954. 15. *Севастьянов Д. В.* О парадоксальных темпах осадконакопления в горных районах Евразии // Изв. Русск. геогр. об-ва. 1996. Т. 128, вып. 1. 16. *Дедков А. П., Мозжерин В. И.* Эрозия и сток наносов на Земле. Казань, 1984. 17. *Севастьянов Д. В.* Об экологической лимнологии // Прикладная лимнология / Под ред. П. С. Лопух. Минск, 2002. Вып. 3. 18. *Субетто Д. А., Давыдова Н. Н., Вастегорд С.* и др. Первые находки вулканического пепла в озерных отложениях Карельского перешейка, С-З России // Изв. Русск. геогр. об-ва. 2001. Т. 133, вып. 3. 19. *Якушко О. Ф., Жуховицкая А. Л., Рачевский А. Н.* Озерные отложения зоны смешанных лесов как источник органо-минерального сырья // География и проблемы регионального развития Белоруссии / Под ред. П. С. Лопух. Минск, 1985. 20. *Давыдова Н. Н.* Диатомовые водоросли — индикаторы экологических условий в голоцене. Л., 1985.

Статья поступила в редакцию 25 апреля 2003 г.