

УДК 551.89:556.5:613.1

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ В ЭКОСИСТЕМЕ БАЙКАЛА В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ

© 2003 г. М. Н. Шимараев, И. Б. Мизандронцев

Представлено академиком К.Я. Кондратьевым 03.07.2002 г.

Поступило 03.07.2002 г.

Одним из аспектов проблемы палеолимнологических реконструкций является воссоздание абиотических условий, существовавших в озерах в прошлом. Первые работы в этом направлении на Байкале выявили большую контрастность гидрофизических условий при экстремальных состояниях климата в периоды сартанского оледенения и климатического оптимума голоцена [1]. Более детальный анализ состояния водной экосистемы может быть основан на учете временной динамики абиотических характеристик в озере и процессов в его водосборном бассейне.

Использованы сведения об аномалиях летней температуры воздуха в высоких и средних широтах северного полушария за последние 16 тыс. лет и данные о концентрации CO_2 в атмосфере из [2]. Считалось, что, как и в современный период [3], тенденции изменения глобального и регионально-го климата совпадали, а аномалии температуры воздуха в районе Байкала соответствовали приведенным в [2]. На этой основе с дискретностью 200 лет восстановлены летние температуры воздуха T_a для Южного Байкала. Средняя за лето температура поверхности воды T_b , продолжительность безледного периода Π , суммарный годовой приток воды в озеро Пр определены по эмпирическим зависимостям их от T_a , полученным по 100-летним рядам наблюдений в Южном Байкале: $T_b = 0.82T_a - 1.16$ ($^{\circ}\text{C}$); $\Pi = 20\Delta T_a + 242$ (дни); $\text{Пр} = 201T_a - 179$ ($\text{м}^3/\text{с}$), где ΔT_a – аномалии температуры из [2].

Для оценки интенсивности химического выветривания породообразующих минералов в бассейне Байкала использованы данные о содержании CO_2 в атмосфере [2] и температуре подстилающей поверхности T_n в теплое время года, восстановленной по ее связи с температурой воздуха на метеостанции Иркутск $T_n = 1.17T_a + 1.50$. Удельные скорости реакции выветривания при

участии угольной кислоты рассчитаны по уравнениям из [4], значения кинетических параметров приняты по [4, 5]. Относительная скорость выветривания получена нормированием удельной скорости на ее современное значение. По сходству характера изменения относительной скорости выветривания во времени минералы подразделены на три группы: в первую вошли карбонаты, во вторую – плагиоклазы, амфиболы, пироксены, калишпаты, а также гранат, эпидот и апатит, в третью – слюды, хлориты и вермикулиты.

В конце плейстоцена 16–11 тыс. лет назад колебания климата с циклом, близким к 1.25 тыс. лет, приводили к резкой изменчивости температуры воды и воздуха, притока воды в озеро (рис. 1). В эпохи максимумов их значения приближались к современным. В эпохи глубоких минимумов значения T_a понижались на 6–7 $^{\circ}$, а T_b на 4–5 $^{\circ}\text{C}$, безледный период сокращался до 120–140 дней. Приток воды был ниже современного в среднем на 40% и составлял около 16–25 км^3 при 60 км^3 в год в современных условиях. Сокращение испарения с поверхности озера до 11 км^3 и атмосферных осадков на его акваторию до 8 км^3 в год [1] вело к уменьшению стока из Байкала до 13–22 км^3 в год и понижению примерно на 1 м уровня озера. Условное время замещения озерных вод речными превышало 1000 лет при его современном значении около 400 лет. Между 14 и 11.3 тыс. лет назад произошло увеличение притока, подтверждаемое сведениями об изменении увлажненности в Евразии по результатам комплексных палеогеографических исследований [6, 7].

В интервале от 17 до 13.5 тыс. лет назад при постепенном росте содержания CO_2 в атмосфере относительная скорость выветривания возрастала от 0.65–0.78 в начале до 1 (современное значение) в его конце (рис. 2). Дальнейшее увеличение парциального давления CO_2 обусловило повышенную интенсивность выветривания на протяжении беллинга (13–12.5 тыс. лет назад), среднего дриаса и почти всего аллерёда. Примерно 11200 лет назад отмечено кратковременное снижение скорости

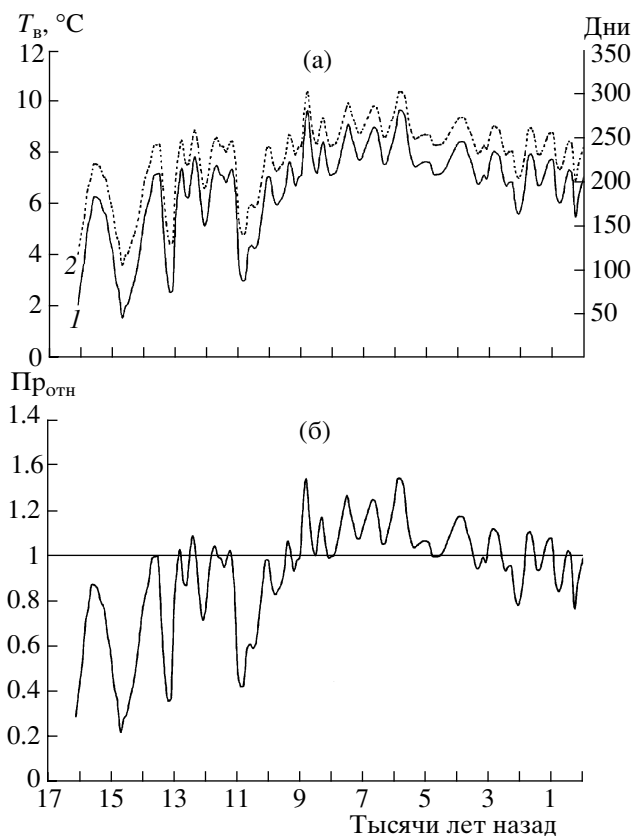


Рис. 1. Средняя за май–сентябрь температура поверхности воды (1), продолжительность безледного периода (2) в Южном Байкале (а) и относительные значения суммарного притока воды в озеро (б).

выветривания с минимумом в начале позднего дриаса (11–10.9 тыс. лет назад).

Значительное потепление с ростом летней температуры воды до 10°C и удлинением безледного периода до 300 суток произошло при перехо-

де от позднего плейстоцена к голоцену между 10.8 и 8.8 тыс. лет назад (см. рис. 1). При этом в 3–4 раза уменьшилась дисперсия абиотических характеристик. В последующие три тысячи лет климатические условия оставались квазипостоянными. Минимальные значения $T_{\text{а}}$ и $T_{\text{в}}$ не опускались ниже современных, а максимальные превышали их на $1\text{--}3^\circ\text{C}$. Длительность безледного периода была близка к 9–10 месяцам. Приток воды был выше, а время водообмена ниже их современных значений в среднем на 12–14%. Около 10.8 тыс. лет назад рост содержания CO_2 в атмосфере и температуры почвы привел к дальнейшему повышению относительной скорости химического выветривания с ее абсолютным максимумом (1.2–1.4) около 8.8 тыс. лет назад. В последующие три тысячелетия парциальное давление углекислого газа и относительная скорость выветривания последовательно уменьшались, оставаясь выше современного уровня. В интервале 6–0 тыс. лет. назад при постепенном похолодании показатели климата и озерных процессов приближались к современным.

Полученные результаты свидетельствуют о коренном изменении абиотических условий в Байкале при переходе от позднего плейстоцена к голоцену между 10.8 до 8.8 тыс. лет назад. Оценка влияния изменений физических условий водной среды на фитопланктон на основе полученной по современным данным зависимости его годовой биомассы от значений температуры воды летом из [1] показала (рис. 3), что при переходе от плейстоцена к голоцену биомасса водорослей должна была возрасти на два-три порядка (от единиц до $600\text{--}700 \text{ мг/м}^3$), постепенно снижаясь затем к началу современного периода почти на порядок. Этот вывод соответствует результатам анализа

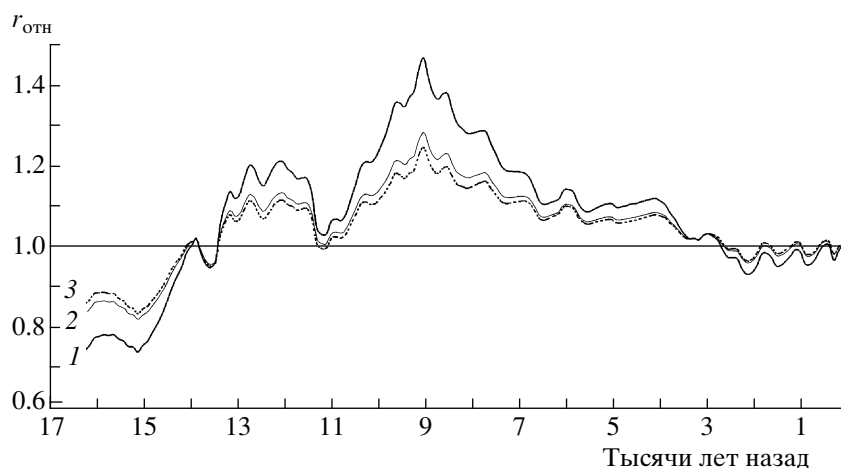


Рис. 2. Относительная скорость химического выветривания минералов $r_{\text{отн}}$ при участии угольной кислоты: 1 – группа кальцита, 2 – группа плагиоклазов, 3 – группа слюд (см. текст).

остатков диатомовых водорослей в донных отложениях Байкала. По данным [8], около 8.2 тыс. лет назад содержание панцирей диатомовых водорослей в осадках очень быстро (за тысячу лет) возросло не менее чем на три порядка. Резкий переход к активному развитию водорослей наступил после длительного (37–11 тыс. лет назад) периода с очень низким уровнем их содержания в озере и донных осадках [9].

Рассматривая другие возможные причины изменений в биоте Байкала, остановимся на условиях, характеризующих вынос в озеро биогенных элементов из его бассейна. В интервале 16–10.5 тыс. лет назад низкая интенсивность химического выветривания минералов, слабые водный сток и сток биогенных элементов, связанный с минерализацией органических остатков скудной наземной растительности, предопределяли и крайне небольшое поступление кремния, азота и фосфора в Байкал. Наименее благоприятны были условия двух первых тысячелетий этого интервала, как, по-видимому, и предшествовавших им 10–30 тыс. лет. При слабом химическом выветривании высвобождение растворенного кремния из силикатных и алюмосиликатных минералов, а также мобилизация фосфора из фосфорсодержащих минералов были замедлены, что усугублялось широким распространением вечной мерзлоты. К тому же малая степень развития растительного покрова должна была ограничивать приток в Байкал соединений азота и фосфора. В то время в бассейне озера преобладали горно-тундровые и лесотундровые ландшафты с редкой кустарниковой растительностью. О низкой продуктивности растительных сообществ свидетельствует и очень малое содержание пыльцы растений в озерных отложениях [10].

Постепенный рост скорости химического выветривания, а также накопление подвижных соединений азота и фосфора в почвах начались около 14 тыс. лет назад, когда наметились тенденции увеличения тепло- и влагообеспеченности, деградации многолетней мерзлоты и развития луговой аласной растительности [6, 7]. Быстрый переход от малопродуктивных редколесий к влажным высокопродуктивным травянистым темнохвойным лесам наступил лишь около 10 тыс. лет назад, что нашло отражение в высокой концентрации пыльцы в однообразных озерных осадках [10]. В совокупности это создавало условия для быстрого нарастания поступления в Байкал соединений азота и фосфора. Поскольку травянистые и злаковые растения содержат аморфный кремнезем [11], вымываемый после их отмирания поверхностными водами, то одновременно дополнительно увеличивался и приток кремния.

Мы допускаем, что контрасты в поступлении вещества в озеро между поздним плейстоценом и

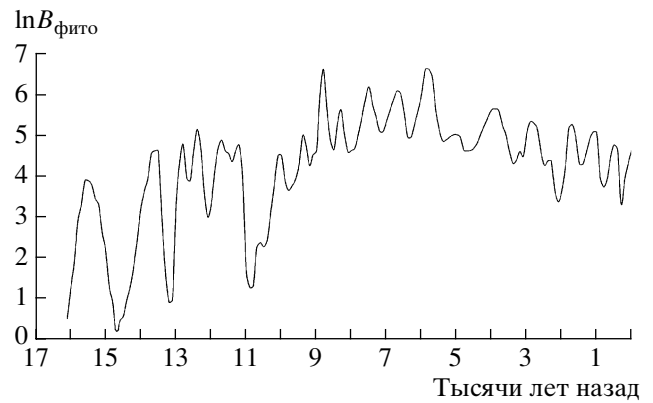


Рис. 3. Реконструированные значения средней годовой биомассы фитопланктона в пелагиали Южного Байкала (в мг/м^3 в слое 0–50 м).

голоценом были значительно больше, чем следует из оценок интенсивности химического выветривания. Более широкое, чем сейчас, распространение в позднем плейстоцене вечной мерзлоты при небольшой глубине сезонного протаивания почвогрунтов заметно сокращало мощность слоя выветривания горных пород и уменьшало область формирования стока в бассейне в условиях позднеледниковья. Если в современных условиях в основной части водосборного бассейна озера, занимаемой р. Селенгой, глубина залегания вечной мерзлоты, как правило, составляет 1.5–3 м [12], то в плейстоцене она достигала всего 30–40 см [6], причем площадь ее распространения могла вдвое превышать современную [13].

Таким образом, крупномасштабные изменения климата и содержания CO_2 в атмосфере вызывали существенные изменения абиотических условий в экосистеме Байкала в позднем плейстоцене и голоцене. Улучшение или ухудшение физических условий обитания планктонных организмов в озере происходило синхронно с изменением условий их обеспечения биогенными элементами. При переходе от позднего плейстоцена к голоцену наряду с быстрым улучшением гидрофизических условий жизнедеятельности водорослей резко возрос и сток биогенных элементов в результате интенсификации химического выветривания и увеличения подвижности азота, фосфора и кремния за счет кардинального изменения структуры и продуктивности наземной растительности в бассейне озера. В совокупности это должно было определить скачкообразный рост продукции фитопланктона, в том числе и диатомового, в Байкале около 8 тыс. лет назад.

Авторы приносят благодарность Е.В. Безруковой, Н.Г. Гранину и М.Ю. Семенову за просмотр рукописи статьи и полезные критические замечания.

Работа поддержана РФФИ (проекты 00–05–65058, 00–05–64032) и Сибирским отделением РАН (интеграционный проект 56).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шимараев М.Н., Гранин Н.Г., Куимова Л.Н. // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 8. С. 97–102.
2. Борзенкова И.И., Зубаков В.А. // Метеорология и гидрология. 1984. № 8. С. 69–77.
3. Шимараев М.Н., Куимова Л.Н., Синюкович В.Н., Цехановский В.В. // ДАН. 2002. Т. 383. № 3. С. 397–400.
4. Sverdrup H. The Kinetics of Base Cation Release due to Chemical Weathering. Lund: Lund Univ. Press, 1990. 246 p.
5. Warfvinge P., Sverdrup H. Critical Loads of Acidity to Swedish Forest Soils: Methods, Data and Results. Lund: Lund Univ. Press, 1995. 104 p.
6. Николаев В.И., Женони Л., Грибченко Ю.Н. и др. Эволюция природной среды Северной Евразии в позднем плейстоцене по изотопным данным. Материалы гляциологических исследований. М.: Ин-т географии РАН, 2001. В. 90. С. 3–11.
7. Величко А.А., Грехова Л.Б., Грибченко Ю.Н., Куренкова Е.И. Первобытный человек в экстремальных условиях среды: Стоянка Елисеевичи. М.: Ин-т географии РАН, 1997. 192 с.
8. Безрукова Е.В., Богданов Ю.А., Вильямс Д.Ф. и др. // ДАН. 1991. Т. 321. № 5. С. 1032–1037.
9. Хурсевич Г.К., Карабанов Е.Б., Прокопенко А.А. и др. // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 1/2. С. 108–129.
10. Безрукова Е.В. Растительность и климат юга Восточной Сибири в позднем неоплейстоцене и голоцене: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2000. 45 с.
11. Дегенс Э.Т. Геохимия осадочных образований. М.: Мир, 1967. 299 с.
12. Лециков Ф.Н. Мерзлотное районирование. Байкал: Атлас. М.: Федеральная служба геодезии и картографии, 1993. С. 33.
13. Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет (Атлас–монография) / Под ред. И.П. Герасимова, А.А. Величко. М.: Наука, 1982. 155 с.