

К. К. ВОТИНЦЕВ

**МАТЕРИАЛЫ ПО ДИНАМИКЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ВОДАХ ОЗ. БАЙКАЛ**

(Представлено академиком Б. Б. Польшовым 6 XII 1951)

В течение 1948—1950 гг. нами изучались сезонные изменения в содержании соединений биогенных элементов в водах оз. Байкал*. Результаты проведенных исследований показывают, что сезонные изменения в содержании нитратного азота, фосфатного фосфора и кремния кремнекислоты в водах оз. Байкал подчинены общим закономерностям и обусловлены, в основном, протекающими в водоеме биологическими процессами (см. рис. 1).

Минимальное содержание соединений биогенных элементов в водах трофогенного и прилегающих к нему слоях воды озера совпадает с периодами максимального развития фитопланктона (апрель и август) (14). В годы с массовым развитием весенних форм фитопланктона из трофогенного слоя озера потребляется весь нитратный азот (весна 1950 г.). Максимальное содержание соединений биогенных элементов приурочено к периодам депрессий в развитии фитопланктона. Обогащение трофогенного слоя соединениями биогенных элементов происходит как за счет их поступления из нижележащих слоев воды, в процессе ветрового и термического перемешивания водных масс озера и частично с водами притоков, так и за счет регенерации при разложении отмершего планктона.

Наблюдаемое в июне или в июле повышенное содержание нитратов и фосфатов в слое воды 0—25—50 м с последующим понижением в слое 50—100 м и новым ростом на глубине свыше 100 м, а также значительное падение величин окисляемости воды на глубинах 25—50 м, по сравнению с ее величинами в вышележащих слоях воды, ясно показывают, что процесс деструкции мелких форм планктонных организмов заканчивается именно в верхних слоях воды озера. Проведенные нами исследования (материалы не опубликованы) процессов регенерации соединений биогенных элементов при разложении отмершей водоросли — мелозиры (*Melosira baicalensis* Wisl.), одного из руководящих видов диатомового планктона оз. Байкал, подтверждают сказанное выше.

Исследования показали также, что содержание биогенных элементов в водах оз. Байкал претерпевает значительные колебания в отдельные годы (см. табл. 1).

Характерной особенностью режима водных масс оз. Байкал, до глубины по крайней мере 250—500 м, является отсутствие в течение всего

* Исследования велись в районе Байкальской биологической станции Иркутского государственного университета (пос. Большие Коты), по обычной методике гидрохимического анализа (1, 4). Пробы воды для анализов отбирались 2—3 раза в месяц.

года в аналитически определяемых количествах аммонийного и нитритного азота. Аммонийный азот постоянно присутствует только в грунтовых растворах и придонных слоях воды озера на больших глубинах (8). Отсутствие аммонийного азота, а также азота нитратов в водах оз. Байкал объясняется быстрой протекания процессов нитрификации и низкой энергией процессов аммонификации (13). Ожидать присутствия аммонийного и нитритного азота в верхних слоях воды Байкала можно только в периоды массового отмирания фитопланктона, как как в этот период количество разлагающегося органического вещества в водах

Таблица 1

Среднегодовые величины содержания некоторых биогенных элементов в водах Байкала в слое 0—250 м (в мг/м³)

Год исследований.	Число анализов	N нитратов	P фосфатов	Si
1948	114	51	33	1026
1949	172	37	20	1084
1950	80	49	26	870

озера должно быть максимальным. Действительно, весной 1950 г. в момент массового отмирания мелозеры нам удалось констатировать наличие в поверхностных слоях воды озера следов аммонийного азота 17 V и 4 VII*.

При изучении динамики биогенных элементов, помимо их абсолютного содержания в воде, большой интерес представляет также знание

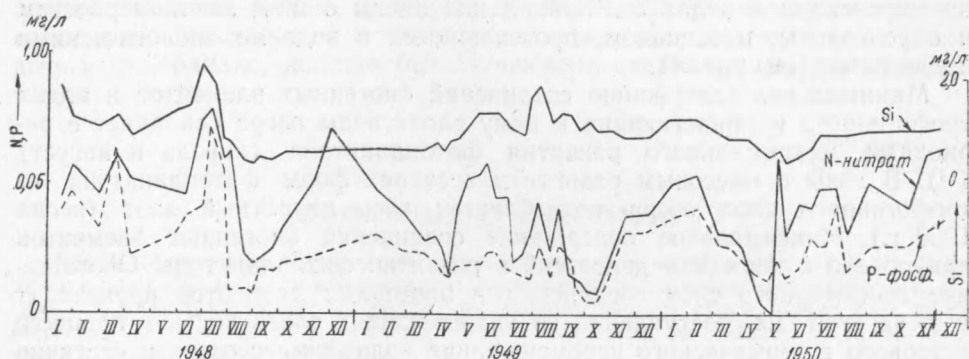


Рис. 1. Сезонные изменения содержания соединений биогенных элементов в поверхностных слоях воды оз. Байкал

соотношений их количеств между собой, особенно соотношение в количествах фосфора и азота. Вычисленное нами отношение нитратного азота к фосфатному фосфору в водах Байкала в периоды весенней и осенней гомотермии колеблется в пределах 1,3—1,5. Среднегодовая величина этого отношения равнялась в 1948 г. 1,54, в 1949 г. 1,85, в 1950 г. 1,88.

В литературе, к сожалению, имеется слишком мало данных по сезонным изменениям в содержании соединений биогенных элементов в пресных озерных водах, в частности по нитратам и фосфатам. Все же можно указать, что отношение азота (его минеральных соединений) к фосфатному фосфору в поверхностных слоях воды Белого озера в Косино, вычисленное нами на основании данных С. И. Кузнецова (10), равно в среднем около 5,8. Для Бисерова озера под Москвой (2) это отношение, видимо, не опускается ниже 3,25. Что касается морских вод, то для такого замкнутого водоема, как Каспийское море, по данным С. В. Бруевича (3) отношение N:P оказывается еще более высоким, чем в пресных водах. В среднем в водах морей и океанов, согласно

* Следует отметить, что биомасса мелозеры в слое воды 0—25 м достигала в указанный период 17 V 3,53 г/м³, а 4 VII 0,6 г/м³.

последней сводке В. А. Водяницкого (6), в пересчете на элементарный фосфор $N : P = 9$.

Все эти данные указывают на то, что в водах Байкала нитратный азот по отношению к фосфатному фосфору находится в большом дефиците. В связи с отсутствием в водах Байкала аммонийного и нитритного азота дефицит этот еще более усугубляется. Этот дефицит обусловлен, очевидно, биологическими процессами, протекающими в водоеме, и в первую очередь процессами, связанными с динамикой биогенных элементов в живом веществе.

Действительно, основной представитель байкальского зоопланктона — рачек епишура (*Epischura baicalensis* Sars.), по данным А. П. Виноградова (5), содержит 10,32% азота и 1,8% фосфора, считая на сухое вещество. Таким образом, отношение $N : P$ равняется у этого вида 5,7. Мелозира — руководящая форма диатомового планктона оз. Байкал — по нашим данным содержит 1,83% азота и 0,42% фосфора, считая на сухое вещество. Следовательно, отношение $N : P = 4,3$.

Таким образом, как животный, так и растительный планктон Байкала относительно богаче азотом, нежели фосфором, по сравнению с водой озера. Как и в других озерах, в Байкале планктонные организмы частично потребляются планктоядными рыбами, частично отмирают естественной смертью. После отмирания они подвергаются деструкции, в процессе которой происходит минерализация содержащихся в отмершем планктоне соединений азота и фосфора и их растворение в водах озера. Разложение отмершего фитопланктона будет в основном завершаться, как это показано нами выше, в верхних слоях воды (12), и дна достигнут лишь кремневые панцыри диатомей. Отмерший же зоопланктон, в частности епишура (а также *Cyclops*, *Macrohectopus*), как показали наши наблюдения (7), может достигать дна озера и в мало разрушенном состоянии*.

Таким образом, байкальский зоопланктон, и в частности рачек епишура, при отмирании должен уносить в донные отложения озера относительно больше азота, нежели фосфора.

Если взять отношение общего количества азота, минерализовавшегося при разложении отмершей епишуры за определенный промежуток времени, к общему количеству минерализовавшегося за тот же промежуток времени фосфора, вычисленное по данным (9), то оказывается, что это отношение в первые 30 суток с начала процесса деструкции возрастает с 1,57 до 3,40. В дальнейшем, в связи с затуханием процессов деструкции отмершей епишуры, отношение это остается практически постоянным и равным в среднем 3,4 (см. табл. 2).

Отсюда, если отмершая епишура будет достигать в Байкале дна озера на больших глубинах в мало разрушенном состоянии, то указанное отношение $N_{\text{минер}} : P_{\text{минер}} = 3,4$ должно сохраниться и в придон-

* Наличие мало разрушенных отмерших рачков епишуры в донных отложениях Байкала нам удалось констатировать в 1949 г. При драгировании легкой драгой с мешком из мельничного газа на глубинах около 500 м в сентябре — октябре 1949 г. было замечено, что в пробах, приносимых драгой, содержится значительное количество отмерших рачков епишуры, пораженных грибом сапролегнией. В одновременно проведенных той же драгой (над теми же глубинами в 500 м) от дна до поверхности водоема ловах планктона пораженной сапролегнией епишуры оказалось очень мало. Факт этот с несомненностью указывает на скопление отмершей епишуры, пораженной сапролегнией, в мало разрушенном состоянии в донных отложениях озера, по крайней мере, на глубинах до 500 м. В связи с этим нам кажется, что утверждение Г. Г. Мартинсона (11) об отсутствии в иловых отложениях Байкала остатков отмершего зоопланктона и даваемое цитируемым автором объяснение указанному явлению не соответствуют действительности. Вероятнее всего, при работе стратометром происходит частичное нарушение верхней пленки иловых отложений при ударе стратометра о дно, вследствие чего остатки зоопланктонов, которые как раз и могут находиться в верхней пленке иловых отложений, так как в более глубоких слоях они будут разложены, и не попадут в пробу.

Таблица 2

Изменение отношения $N_{\text{минер}} : P_{\text{минер}}$ в процессе разложения отмершей епишуры (при 15°)

Время с начала опыта в сутках	2	5	10	15	20	30	45	50
$\frac{N_{\text{минер}}}{P_{\text{минер}}}$	1,57	2,33	3,00	3,23	3,27	3,40	3,38	3,43

ных слоях воды озера, в связи с крайней медленностью их перемешивания с вышележащими слоями на больших глубинах. Наши исследования⁽⁸⁾, дополняемые новыми данными, полученными в 1949—1950 гг., показывают, что на глубинах около 400—450 м в придонных слоях воды отношение суммы нитратного и аммонийного азота к фосфатному фосфору действительно равно 3,4 (среднее из 21 пробы).

Следует указать, что обогащение донных отложений Байкала соединениями биогенных элементов, помимо их поступления с отмершим планктоном и отмершими организмами бентоса, должно происходить также за счет поступления с различным органическим детритом. Роль этого источника биогенных элементов в их общем балансе в оз. Байкал может быть весьма значительной, но, к сожалению, остается еще совершенно не изученной.

Приведенные данные ясно показывают, что в донных отложениях Байкала действительно происходит более интенсивное накопление соединений азота по сравнению с соединениями фосфора, что безусловно является одной из причин относительного дефицита азота в водах озера. Накопление соединений азота в донных отложениях Байкала регулируется, видимо, другими процессами, среди которых не последнее место занимает процес денитрофикации, идущий наиболее интенсивно как раз в донных отложениях на больших глубинах⁽¹³⁾.

Таким образом, донные отложения Байкала являются одним из важных звеньев в динамике соединений азота и фосфора. Что касается кремния, то значительные количества последнего в форме панцирей диатомей и спикул губок находят в донных отложениях Байкала конечный пункт своей миграции.

Физико-химический институт
при Иркутском государственном университете
им. А. А. Жданова

Поступило
6 XII 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. В. Бруевич, Методика химической океанографии, 1933. ² С. В. Бруевич, Р. М. Певзник, В. Л. Познизовская и М. А. Сибиряков, Гидрохимич. матер., 11 (1930). ³ С. В. Бруевич, Гидрохимия Среднего и Южного Каспия, 1937. ⁴ Г. Ю. Верещагин, Методы полевого гидрохимич. анализа в их применении к гидрологич. практике, 1932. ⁵ А. П. Виноградов, Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, 5 (1939). ⁶ В. А. Воляницкий, Тр. Зоол. ин-та АН СССР, 7, 2 (1941). ⁷ К. К. Вотинцев, ДАН, 62, № 5 (1948). ⁸ К. К. Вотинцев, ДАН, 75, № 1 (1950). ⁹ К. К. Вотинцев, ДАН, 63, № 6 (1948). ¹⁰ С. И. Кузнецов, Тр. Лимнол. ст. в Косино, 17, (1934). ¹¹ Г. Г. Мартинсон, ДАН, 59, № 2 (1948). ¹² Б. А. Скопинцев, ДАН, 58, № 8 (1947). ¹³ Н. Б. Нечаева и А. Г. Салимовская-Родина, Тр. Байк. лимн. ст., 6 (1935). ¹⁴ В. Н. Яснитский, Изв. Биол.-геогр. ин-та Ирк. гос. ун-та, 4, 3—4 (1930).