

Г. Ц. ЦЫБЕКМИТОВА

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита

**ДИНАМИКА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ ОЗЕРА АРАХЛЕЙ
(ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)**

Показана межгодовая изменчивость содержания азота, фосфора и гидролитической ферментативной активности воды оз. Арахлей. Полученные данные дополняют представления о функционировании мезотрофных озер. Сделан вывод, что уровень продукционно-деструкционных процессов и привнос веществ с водосборного бассейна за исследуемые годы не влияют на качественное состояние водоема.

Ключевые слова: водная экосистема, азот, фосфор, биогенные вещества, ферментативная активность.

It is shown that nitrogen and phosphorus contents and the hydrolytic fermentation activity of Lake Arakhlei's water undergo an interannual variability. The data obtained provide further insights into the functioning of mesotrophic lakes. It is concluded that the level of productive-destructive processes and the entry of matter from the catchment basin for the years under investigation do not affect the quality of the water body.

Keywords: water ecosystem, nitrogen, phosphorus, biogenic substances, fermentation activity.

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Арахлей расположено в восточной части Витимского плоскогорья на водоразделе рек Витим и Селенга, на территории Витимской таежноплоскогорной провинции Байкало-Джугджурской горнотаежной области. Абсолютная высота днища озера 960–980 м над ур. моря. С севера и северо-запада Арахлейскую впадину окружают отроги хр. Цаган-Хуртэй и Осиновый хребет, с юго-востока — Яблоновый хребет. Площадь водосбора озера — 256 км², площадь водного зеркала — 54 км², максимальная глубина — 14 м, а средняя 10,2 м.

К числу биогенных компонентов, присутствующих в природных водах, относятся соединения азота и фосфора, которые играют основную роль в водной экосистеме. Биогенные элементы в воде определяют биологическую продуктивность водоемов и одновременно служат одним из показателей загрязнения воды. Кроме того, некоторые из соединений этих элементов обладают токсичностью при превышении ПДК [1]. Динамика концентраций азота и фосфора зависит от интенсивности биохимических и биологических процессов, происходящих в экосистеме, и является отражением сложных внутриводоемных биохимических, гидродинамических, физических и других процессов.

Как известно, функциональные возможности сложной и многокомпонентной системы природных вод в большей степени связаны с присутствием в них физиологически активных веществ, которые оказывают влияние на регуляцию процессов трансформации веществ во всех звеньях экологической цепи. К таким соединениям в первую очередь относятся ферменты, продуцируемые в результате естественной функции гидробионтов (бактерий, грибов, планктона, растений и пр.), а также при их разложении [2, 3].

Цель настоящей работы — исследование межгодовой изменчивости содержания азота, фосфора и гидролитической ферментативной активности воды оз. Арахлей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для настоящей работы послужили данные гидрохимических исследований, проведенных в 1988, 1996–1998 гг. (многоводные) и 2008–2009 гг. (маловодные) на оз. Арахлей сотрудниками лаборатории водных экосистем Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН.

Для гидрохимического анализа использовали пробы воды, отобранные батометром Молчанова на центральной станции оз. Арахлей. Проанализировано более 150 проб воды по общепринятым методикам [4]. Оценка протеолитической (ПА) и амилолитической (АА) активностей поверхностных вод выполнена с использованием методов Г. А. Корнеевой [5, 6]. О присутствии фермента судили по наличию ферментативной реакции гидролиза специфического для каждого фермента субстрата; величины ферментативной активности даны в условных ферментативных единицах (ф. ед.). Одна ферментативная единица соответствует количеству фермента, которое катализирует изменение оптической плотности окрашенного субстрата на 1,00 оптическую единицу за час инкубации в миллиметре исследуемого образца.

В данной работе представлены результаты исследований содержания азота в виде аммонийных (NH_4^+), нитритных (NO_2^-) и нитратных (NO_3^-) ионов, фосфат-ионов и общего фосфора, а также гидролитической ферментативной активности воды.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Межгодовая динамика биогенов в озере зависит от особенностей предшествующего года, характера половодья, соответствующих изменений во внутриводоемных процессах и т. д. Многолетние изменения атмосферных осадков на территории Забайкальского края показаны В. А. Обязовым [7]. Установлена выравненная цикличность «сухих» (1965–1981) и «влажных» (1982–1998) лет. Продолжительность полного цикла — 34 года. За время наших исследований до 2000 г. наблюдались многоводные годы, а в 2008–2009 гг. отмечалось малое количество годовых осадков. С 1988 по 2009 г. уровень озера менялся с амплитудой колебания 2–2,2 м. Установлено, что в приходной части водного баланса оз. Арахлей осадки на зеркало водоема незначительно преобладали над притоком (осадки 17,8, приток 16,1 млн $\text{м}^3/\text{год}$). В расходной части на испарение уходило 27,1 млн $\text{м}^3/\text{год}$, а сток составил 6,8 млн $\text{м}^3/\text{год}$ [8].

Наличие в воде азота регулируется не только процессами поступления, но и потреблением его гидробионтами. В водоеме минеральный азот содержится в трех формах — аммонийной, нитритной и нитратной, представляющих последовательные степени окисления. Основным внутриводоемным источником аммония является минерализация органических веществ, находящихся непосредственно в толще воды и содержащихся в донных отложениях. Г. Г. Винбергом и В. П. Ляхновичем [9] установлено, что 40–50 % азота, поступающего на дно в результате седиментации, минерализуется до аммиака. Кроме того, естественный источник аммония в водоемах — это прижизненные выделения гидробионтов.

По результатам наших исследований в оз. Арахлей в многоводные годы (1988, 1996–1998) средние значения аммония находились в пределах от 0,111 до 0,175 мгN/л, тогда как в засушливые (2008–2009) их концентрация составляла 0,025–0,033 мгN/л (рис. 1). По-видимому, это связано с уменьшением минерализации органического вещества в маловодные годы.

Азот нитритов является промежуточным продуктом окислительно-восстановительных процессов, происходящих в водной толще. Его содержание регулируется динамичными биохимическими процессами (нитрификация, денитрификация, потребление фитопланктоном). Низкие значения содержания нитритов

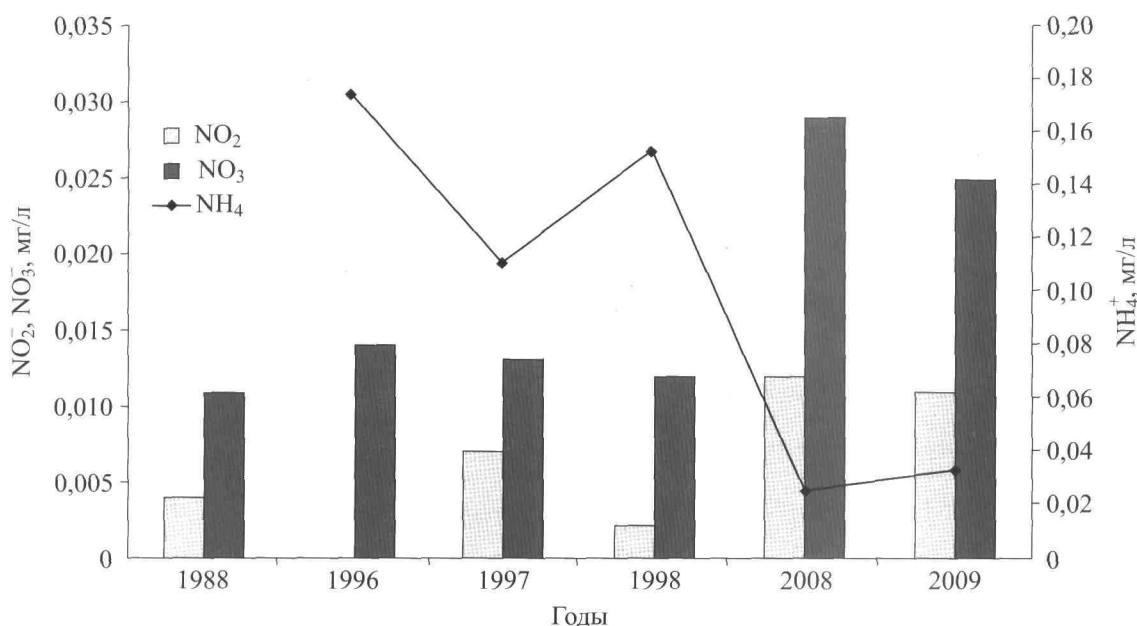


Рис. 1. Содержание аммонийного азота, нитратов и нитритов в воде оз. Арахлей.

и нитратов (0,002–0,007 мгN/л), отмеченные в 1988, 1997, 1998 гг., объясняются большой скоростью процессов нитрификации, чему способствуют значительные запасы кислорода в воде.

В 1997–1998 гг. концентрация растворенного кислорода в воде оз. Арахлей в среднем в течение года изменялась от 5,5 до 16,5 мг/л (53–124 % насыщения) [10]. Результаты наших исследований показали, что в 2008 г. диапазон изменений абсолютных концентраций растворенного кислорода составил 1,1–15,7 мг/л с максимальным значением в августе. В период весенней и осенней циркуляции (пик развития фитопланктона) поверхностные воды в озере перенасыщены кислородом за счет фотосинтеза. В марте и августе придонные слои воды, наоборот, обеднены кислородом — 1,1 мг/л и 3,6 мг/л соответственно. Вертикальная неоднородность концентрации кислорода присутствует в озере почти постоянно.

Содержание минерального азота и его межгодовая динамика определялись в основном по запасам нитратного азота. Наши исследования показали, что в 1988, 1996–1998 гг. среднегодовые концентрации нитратов колебались в диапазоне 0,003–0,014 мг/л с минимумом летом в трофогенном слое и максимумом зимой во всем столбе воды. В 2008–2009 гг. концентрация нитратов находилась в пределах 0,025–0,029 мгN/л (см. рис. 1).

Внутриводоемные процессы — это основной фактор в трансформации фосфора. Как известно, источником непрерывного пополнения запасов минеральных соединений фосфора может быть высокая интенсивность деструкционных процессов в толще воды, часто превосходящая продукцию фитопланктона [11]. Кроме того, источником фосфатов является регенерация фосфора зоопланктоном. Б. Л. Гутельмахером [12] установлено, что за счет регенерируемого зоопланктоном фосфора может синтезироваться от 10 до 20 % от его общего содержания в водоеме. Низкая концентрация минерального фосфора может быть обусловлена присутствием железа, которое осаждает минеральный фосфор в донные осадки в виде нерастворимых соединений. По данным М. Т. Усманова и В. Н. Жилина [10] количество общего железа в воде озера изменяется в среднем от 0,1 до 0,35 мг/л, экстремальные его величины доходят до 0,01–0,96 мг/л.

На основе анализа изменений концентраций фосфора в воде оз. Арахлей за 1988, 1996–1998 и 2008–2009 гг. нами выявлены следующие особенности. Так, в многоводные годы (1988, 1996–1998) в водной толще отмечалось низкое содержание органического фосфора (0,003–0,015 мг/л), а в 2008–2009 гг. его концентрация повысилась (0,029–0,044 мг/л). Увеличение концентрации фосфора мы связываем с возрастанием в основном внутренней фосфорной нагрузки в маловодные годы, так как сезонные и многолетние изменения концентрации фосфатов обусловлены в большей степени развитием фитопланктона и интенсивным деструкционным процессом, происходящим в водоеме (рис. 2). В среднем отношение $P_{\text{мин}}/P_{\text{общ}}$ в 1996–1998 гг. составило 0,22 (преобладал фосфор органического происхождения), а в 2008–2009 гг. — 0,52 (практическое соответствие между минеральными и органическими формами фосфора).

Поддержание запасов фосфора в озере за счет его быстрой регенерации из органических соединений подтверждается достаточно высокой активностью протеолитических ферментов. В марте 1997 г. активность протеолитических ферментов изменялась от 29 до 108 ф. ед/м², а в июне 2010 г. возросла до 242–422 ф. ед/м² (рис. 3). Высокая ферментативная активность воды оз. Арахлей свидетельствует об интенсивно проходящих биохимических процессах в экосистеме, что способствует образованию питательных веществ и разложению продуктов жизнедеятельности организмов, а в итоге обеспечивает развитие жизни в воде.

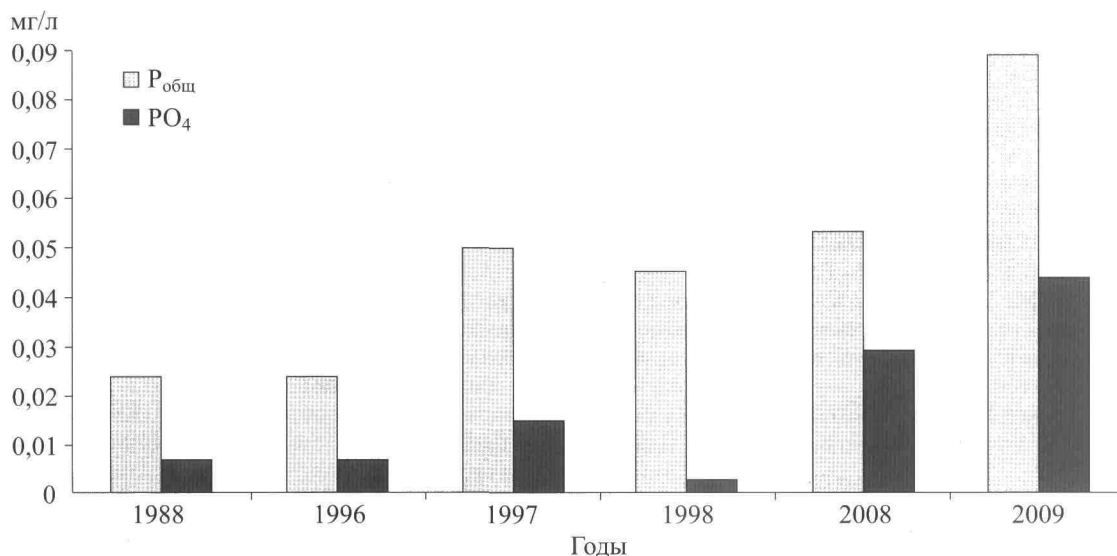


Рис. 2. Динамика содержания фосфора в воде оз. Арахлей.

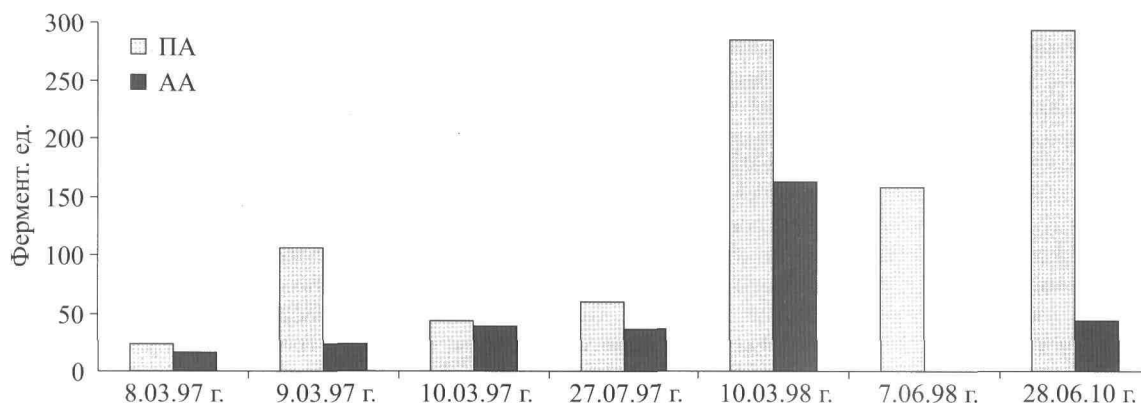


Рис. 3. Ферментативная активность воды оз. Арахлей.

Активность: ПА — протеолитическая, АА — амилолитическая.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам наших многолетних исследований установлено, что проявления различных концентраций азота и фосфора в оз. Арахлей зависят от характера половодья и соответствующих изменений во внутриводоемных процессах. Наибольшие их концентрации отмечены в тех случаях, когда происходит интенсивная деструкция органических веществ (нитрификация, денитрификация, потребление фитопланктоном). Показатели по азоту и фосфору практически не превышают предельно допустимых концентраций для водоемов рыбохозяйственного и хозяйственно-бытового назначения. Следовательно, уровень продукционно-деструкционных процессов и привнос веществ с водосборного бассейна не ухудшают качественного состояния водоема.

Работа выполнена в рамках проекта СО РАН (VII.65.2.2) и Интеграционного проекта СО РАН (№ 49).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никаноров А. М., Посохов Е. В. Гидрохимия. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 232 с.
2. Корнеева Г. А. Оценка функционального состояния морской воды Черного моря по уровню гидрологических ферментативных активностей // Изв. РАН. Сер. биол. — 1993. — № 6. — С. 909–913.
3. Цыбекмитова Г. Ц. Активность ферментов льда озера Арахлей (Восточное Забайкалье) // Уч. записки Забайкал. гос. гуманитар.-пед. ун-та. — 2011. — № 1. — С. 217–219.
4. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А. Д. Семёнова. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 541 с.
5. Корнеева Г. А., Харченко С. В., Романкевич Е. А. Изучение ферментативного гидролиза казеина в морской воде // Изв. РАН. Сер. биол. — 1990. — № 6. — С. 821–826.
6. Корнеева Г. А., Романкевич Е. А. Активность гидролитических ферментов в морской экосистеме // Биогеохимия пограничных зон Атлантического океана. — М.: Наука, 1994. — С. 157–158.
7. Обязов В. А. Адаптация к изменениям климата: региональный подход // География и природ. ресурсы. — 2010. — № 2. — С. 34–39.
8. Обязов В. А., Усманов М. Т., Жилин В. Н. Гидрология // Ивано-Арахлейский заказник: природно-ресурсный потенциал территории. — Чита: Поиск, 2002. — С. 24–25.
9. Винберг Г. Г., Ляхнович В. П. Удобрение прудов. — М.: Пищевая пром-сть, 1965. — 270 с.
10. Усманов М. Т., Жилин В. Н. Характеристика гидрохимических параметров // Ивано-Арахлейский заказник: природно-ресурсный потенциал территории. — Чита: Поиск, 2002. — С. 67.
11. Павельева Е. Б., Лепская Е. В. Характеристика продукционно-деструкционных процессов Курильского озера в мае–сентябре 1980 г. — Петропавловск-Камчатский: КОТИНРО, 1980. — 19 с.
12. Гутельмахер Б. Л. Количественная оценка роли зоопланктона в круговороте фосфора в водоеме // Журн. общ. биологии. — 1977. — Т. 38, № 6. — С. 914–921.

Поступила в редакцию 4 июля 2011 г.