

©2007 М.Ю. Горбунов, М.В. Уманская, Е.С. Краснова\*

## **ХАРАКТЕРИСТИКА АБИОТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЭКОСИСТЕМЕ НИЖНЕГО ПРУДА БОТАНИЧЕСКОГО САДА САМАРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

*Gorbunov M.Yu., Umanskaya M.V., Krasnova E.S.* CHARACTERISTICS OF ABIOTIC CONDITION IN THE ECOSYSTEM OF NIZHNIJ POND (SAMARA BOTANIC GARDEN). Partial mixing (meromixis) of the pond is proved. The bottom water layer of the pond (monimolimnion) is anaerobic and contains high concentration of sulfide, as well as biogenic elements. In the transient zone between the monimolimnion and the mixed surface water layer (mixolimnion) sharp gradients of physical and chemical parameters are formed. The mechanisms of maintenance and the features of the meromixis of the pond are discussed in comparison with known meromictic lakes.

Keywords: lakes, morphometric characteristic, stratification, stability, meromixis, anaerobic conditions

*Горбунов М.Ю., Уманская М.В., Краснова Е.С.* ХАРАКТЕРИСТИКА АБИОТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЭКОСИСТЕМЕ НИЖНЕГО ПРУДА БОТАНИЧЕСКОГО САДА САМАРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. Показано, что пруд является частично перемешиваемым (меромиктическим) водоемом. Придонная водная масса пруда (монимолимнион) анаэробна, содержит большое количество сероводорода и сульфидов, а также биогенных элементов. В переходной зоне между монимолимнионом и верхним перемешиваемым слоем воды (миксолимнионом) формируются высокие градиенты физических и химических условий среды. Обсуждаются механизмы поддержания и особенности меромиктии пруда в сравнении с известными меромиктическими озерами.

Ключевые слова: озера, морфометрия, стратификация, стабильность, меромиксис, анаэробные условия.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Живые организмы и абиотические факторы среды связаны в любой экосистеме сложными многосторонними связями. Состав и количественное развитие планктонных сообществ в водных экосистемах определяется не только содержанием биогенных элементов, но и температурным и газовым режимом, а также особенностями перемешивания водных масс (Hutchinson, 1967; Reynolds, 1984). В свою очередь, планктонные и бентосные организмы оказывают значительное влияние на газовый и химический состав водной массы, ее оптические свойства и термический режим.

---

\* Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти.

В 2004-2006 гг. нами были проведены комплексные систематические исследования на Нижнем пруду Ботанического сада Самарского Государственного Университета, более крупном из двух прудов, находящихся на его территории. Хотя ранее проводились отдельные гидробиологические исследования прудов Ботанического Сада (Матвеев и др., 1995; Герасимов, Сятищев, 2001; Захаров, 2004; Синтицкий и др., 2004 и др.), специального исследования абиотических условий до настоящего времени не было. В данной публикации дается характеристика морфометрии Нижнего пруда, его термического и газового режима, а также особенностей химического состава водной толщи. Показано, что важнейшей особенностью пруда является неполное перемешивание его водной толщи, которое приводит к ее круглогодичному вертикальному расслоению.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили ежемесячно с апреля по август 2004 г. и с марта 2005 по май 2006 г. Пробы воды отбирали батометром Руттнера в наиболее глубокой части пруда. Батиметрическая съемка проведена в мае 2006 г. путем измерения глубин с шагом 2-5 м по восьми трансектам.

Активную реакцию и окислительно-восстановительный потенциал воды измеряли портативными приборами в момент отбора проб. Температуру воды определяли погружным термометром. Определение концентраций кальция, магния, сульфатов, силикатов, железа, фосфатов и общего фосфора, нитритов и нитратов проводили полумикромодификациями стандартных методов (Унифицированные методы..., 1973; Новиков и др., 1990). Хлориды определяли колориметрически с тиоцианатом ртути (Уильямс, 1982), аммоний – фенол-гипохлоридным методом (Solorzano, 1969). Концентрацию растворенного кислорода определяли с использованием азидной модификации метода Винклера. К пробам из зоны оксиклина предварительно добавляли хлорид ртути (Руководство по химическому анализу..., 1993) для связывания сульфидов. Концентрацию сероводорода и сульфидов определяли методом (Cline, 1969), при необходимости добавляя пробы бескислородной водой. Концентрацию гидрокарбонатов определяли по щелочности с поправкой на щелочность, обусловленную присутствием гидросульфидов. Мешающее влияние сульфидов на другие анализы исключали подкислением проб до pH = 4,5 и продувкой воздухом или азотом.

Устойчивость водного слоя к перемешиванию характеризовали величиной квадрата частоты плавучести (частоты Брента-Вясялая)  $N^2$  (Филипс, 1969; Reynolds, 1984)

$$N^2 = -\frac{g}{\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial z},$$

где  $z$  – глубина,  $\rho$  – плотность воды,  $g$  – ускорение силы тяжести.

При расчете использовали табличные данные о зависимости плотности чистой воды от температуры, а также данные по минерализации воды, считая, что при постоянной температуре  $(\rho_M - \rho_0)/M = 0,85$  (Hutchinson,

1957), где  $\rho_0$  и  $\rho_M$  – плотности чистой воды и воды с минерализацией  $M$  (плотности и минерализация выражены в  $\text{кг/м}^3$ ). Общую стабильность рассчитывали в соответствии с (Idso, 1973).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Морфология и гидрология.** Нижний пруд – один из двух плотинных прудов на территории Ботанического сада Самарского университета, в верховьях оврага Подпольщиков, отделен от лежащего выше по оврагу, меньшего по размеру Верхнего пруда плотиной шириной 10-15 м. Он имеет вытянутую форму, суженную в верхней части, расширенную и несколько изогнутую к плотине в нижней части. Длина – 150 м, средняя ширина – 40 м, площадь – 0,55 га. Максимальная глубина, по нашим измерениям – 5,6-5,8 м, в 20 м от плотины (рис. 1). Общий объем пруда – около 12 тыс.  $\text{м}^3$ , средняя глубина – 2,05 м. Относительная глубина (отношение максимальной глубины к диаметру круга с площадью, равной площади озера) – 0,068.

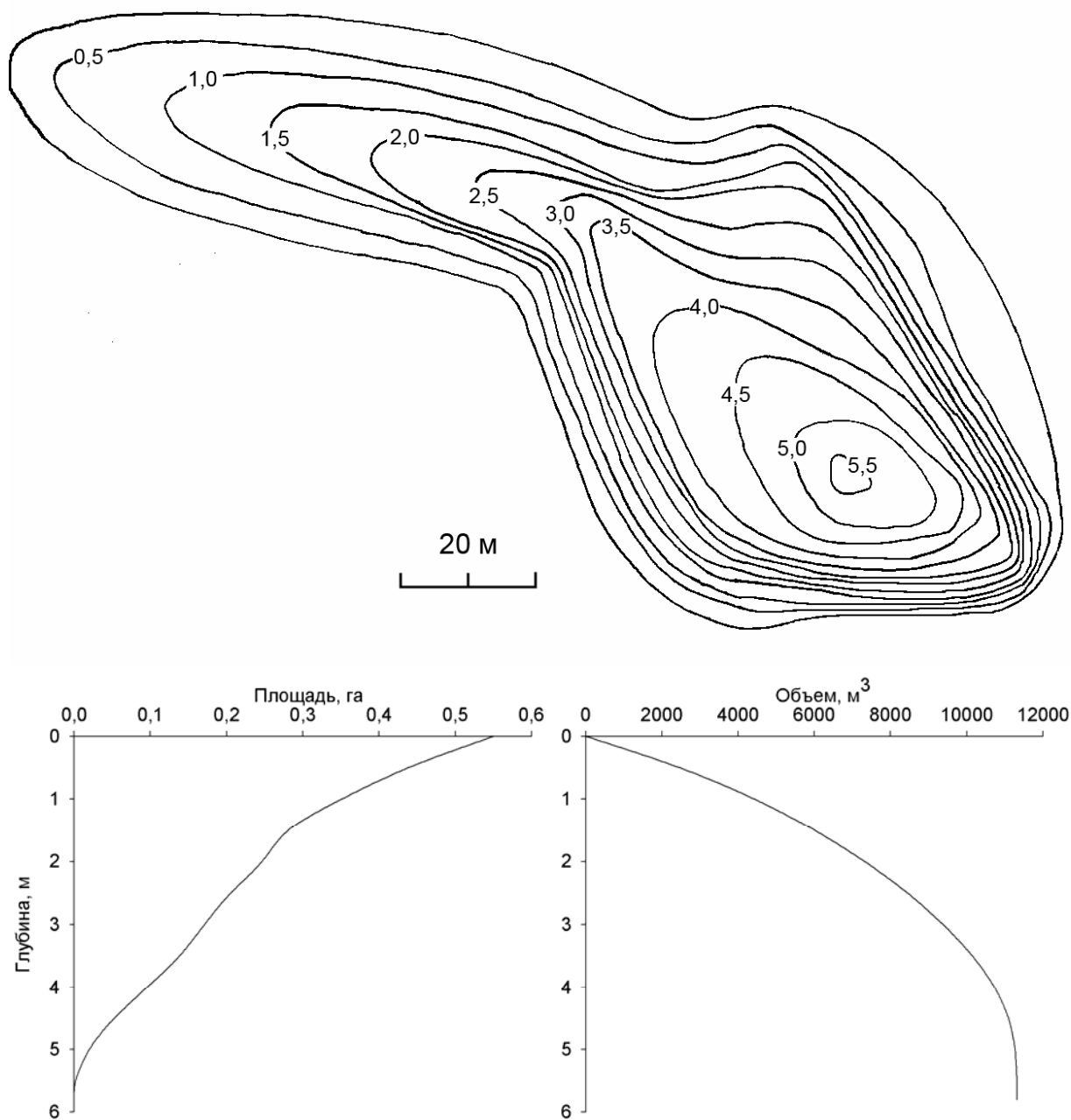
Берега в верхней части крутые, в нижней более пологие, с разнообразной естественной и культивируемой древесно-кустарниковой растительностью. Прибрежная растительность защищает пруд от ветрового воздействия.

Дно пруда илистое, в центральной части – мощные, до 4 м, отложения черных сероводородных илов (Матвеев и др., 1995; Герасимов, Сятищев, 2001). Эти отложения формировались уже на ранних этапах развития экосистемы пруда: в 30-е гг. XX века проводились даже клинические испытания, показавшие возможность использования этих илов в бальнеологических целях (Шиклеев, 1938).

Пруд питается за счет фильтрации воды через плотину Верхнего пруда, а также за счет поверхностного стока с водосбора (в период снеготаяния), осадков на водное зеркало и, видимо, грунтовых вод. Поверхностный сток отсутствует; потери воды происходят за счет испарения с зеркала и фильтрации воды через плотину пруда. Определение соотношения компонентов водного баланса пруда нами не проводилось.

Прозрачность воды по диску Секки в течение всего периода наших наблюдений колебалась в пределах 0,95-1,9 м с минимумом в октябре 2005 г. По данным Синицкого с соавт. (2003), в 2001-2002 гг. она составляла 0,8-1,5 м, с минимумом в середине лета, но Захаров (2004), указывает значительно меньшую величину минимальной прозрачности в 2001 году (0,35 м).

**Температурный режим.** Сплошной ледовый покров на Нижнем пруду держится с ноября по март. Вскрытие ото льда происходит в апреле, водное зеркало полностью освобождается во второй половине месяца. Так, в 2006 г. это произошло 20-22 апреля. Сплошной ледовый покров устанавливается во второй половине ноября (21-22.11.2005 г.). Зимой 2005/06 гг. максимальная толщина ледового покрова составила 70 см.



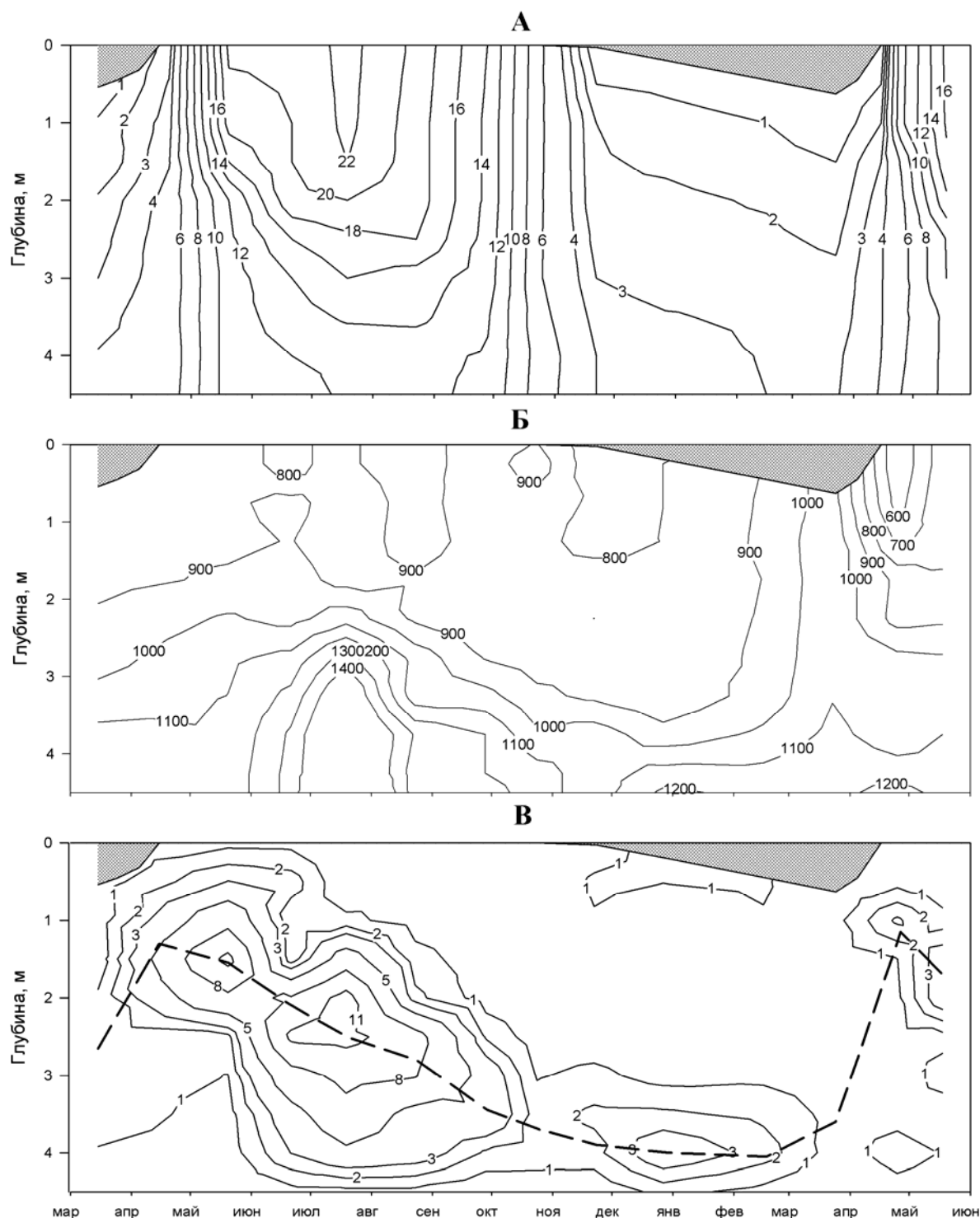
**Рис. 1. Нижний пруд Ботанического Сада СамГУ: батиметрическая схема, батиграфическая кривая, объемная кривая.**

Весенний прогрев воды после вскрытия ледового покрова протекает быстро, и в течение месяца, к третьей декаде мая, температура поверхностного слоя воды достигает 16,5-20,5°C, а придонного – 9,5-11°C. Дальнейший прогрев воды летом незначителен: температура поверхностного слоя колеблется от 19,5 до 22,7°C, а придонного – от 9 до 12,5°C (рис. 2 А). Только однажды, 14.07.04 г., было зафиксировано увеличение поверхностной температуры до 25,5°C, а придонной – до 13,8°C.

Термоклин (зона максимального градиента температуры) опускается с глубины 1,5-2 м в мае до 3-3,5 м в сентябре.

Осеннее выравнивание температуры всей водной толщи регистрируется в октябре при температуре около 10°C и продолжается около месяца,

до достижения температуры  $4^{\circ}\text{C}$  (рис. 2 А). Затем, до разрушения ледового покрова, в пруду наблюдается обратная термическая стратификация с максимальным градиентом температуры непосредственно у нижней границы льда.



**Рис. 2.** Распределение температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ), минерализации (мг/л) и стабильности ( $N^2, 10^{-3} \text{ сек}^{-2}$ ) водной толщи Нижнего пруда (март 2005-май 2006 г.) На диаграмме В пунктиром показана область максимальной стабильности. Штриховкой здесь и далее показан ледовый покров.

**Минерализация.** Вода пруда характеризуется повышенной минерализацией и значительным различием ее величины между поверхностным и придонным слоями. Средний состав воды за безледный период 2004–2005 гг. можно охарактеризовать формулами Курлова:

$$M_{0,81} \frac{HCO_4 42,0 SO_4 32,8 Cl 25,2}{Na + K 37,5 Ca 33,1 Mg 29,4} \text{ (поверхностный слой),}$$

$$M_{1,34} \frac{HCO_3 58,4 Cl 21,3 SO_4 20,3}{Ca 38,4 Na + K 37,4 Mg 24,2} \text{ (придонный слой);}$$

где М – минерализация, г/л, в числителе и знаменателе – концентрации, соответственно, анионов и катионов, экв. %.

Характерной чертой химического состава воды пруда является близкое содержание основных анионов с небольшим преобладанием гидрокарбонатов, и высокое содержание щелочных металлов, сравнимое с содержанием кальция. Видимо, высокая концентрация хлоридов и щелочных металлов связана с поверхностным стоком с близлежащих улиц, посыпаемых солью для очистки ото льда в зимний период.

Значительное различие общей минерализации в поверхностном и придонном слое препятствует полному перемешиванию водного столба даже в условиях весенней и осенней гомотермии. Пруд, таким образом, является меромиктическим (частично перемешиваемым, биоанизотропным) водоемом. Верхний перемешиваемый слой (до глубины 2 м летом и 3 м осенью) следует называть миксолимнионом, а нижний – монимолимнионом. Между ними лежит зона хемоклина.

Считается, что меромиктический характер перемешивания пресных водоемов может быть обусловлен либо биологическими процессами в самом водоеме, приводящими к накоплению растворенных веществ в придонном слое (биогенная меромиктия), либо наличием сильноминерализованных источников на дне водоема (креногенная меромиктия). Из гидрохимических формул Курлова видно, что в придонном слое особенно увеличено содержание ионов бикарбоната и кальция. Накопление этих ионов, вероятно, связано с осаждением карбоната кальция из поверхностных слоев воды в период интенсивного фотосинтеза, и его растворением в придонном слое, содержащем большие количества растворенной углекислоты. Таким образом, в формировании меромиктии пруда участвуют биологические процессы.

На процессы перемешивания водоемов урбанизированных территорий может влиять также поступление с водосбора засоленных вод, обусловленное применением соли для очистки улиц и дорог от снега и льда (Judd, 1970, Kjensmo, 1997). Однако полученные нами данные не указывают на непосредственное влияние поступления солей с водосбора на процессы перемешивания в пруду.

Характер изменения минерализации воды и стабильности водных слоев пруда (рис. 2 Б, В) свидетельствуют о том, что важную роль в формировании вертикальной анизотропности водной толщи пруда играют процессы

образования и таяния ледового покрова. В таком неглубоком водоеме, как данный пруд, образование ледового покрова захватывает значительную часть объема воды. Это приводит к увеличению минерализации подледной воды из-за "вымораживания" минеральных веществ. При таянии льда образуется опресненный поверхностный водный слой, минерализация которого в пруду ( $< 0,6$  г/л) вдвое ниже, чем средняя минерализация воды перед разрушением льда. Это находит свое отражение в резком подъеме максимума стабильности с глубины около 4 м до 1-1,5 м в момент разрушения ледового покрова (рис. 2 В).

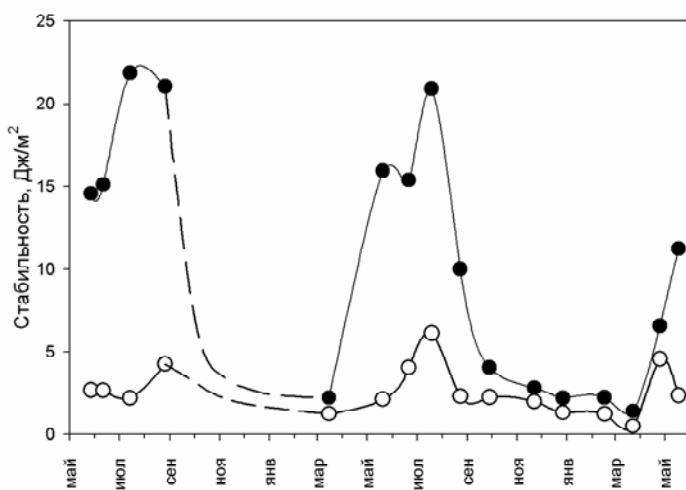
Из-за кратковременности периода весенней гомотермии и значительного различия плотностей опресненного и нижележащего слоев воды, до установления термической стратификации происходит только небольшое (до 1,5- 2 м) увеличение толщины верхнего перемешиваемого слоя. Соответственно, его минерализация тоже увеличивается не очень значительно, и остается существенно ниже минерализации придонного слоя. Эти ежегодно повторяющиеся процессы приводят к поддержанию градиента минерализации в водоеме.

Подобные процессы, очевидно, могут происходить в любых малых пресных водоемах. Однако далеко не во всех случаях они приводят к подавлению полного перемешивания. В маломинерализованных водоемах градиенты минерализации, обусловленные циклом вымораживания-таяния обычно недостаточны для предотвращения перемешивания, а в озерах с меньшей глубиной сформировавшиеся градиенты минерализации успевают разрушиться в течение периода открытой воды. Однако при высокой минерализации, малой проточности, небольшой площади и достаточной глубине водоема описанный механизм вполне может обусловить поддержание стабильного градиента плотности воды и, как следствие, меромиктического характера перемешивания водоема.

В течение периода открытой воды происходит постепенное опускание хемоклина за счет процессов турбулентного перемешивания на нижней границе миксолимниона. Этот процесс несколько замедлен в летний период, когда водная масса дополнительно стабилизирована градиентом плотности, связанным с температурным скачком. Однако в течение кратковременной весенней и значительно более длительной осенней гомотермии эрозия хемоклина резко ускоряется. Так, в течение осени 2005 г. хемоклин опустился с 2,5 м (сентябрь) до 3,5 м (декабрь).

Анализ величин общей стабильности (т.е. работы, которую требуется совершить для выравнивания химического состава воды и температуры во всей водной толще, в расчете на единицу площади поверхности), и ее части, связанной только с минерализацией (меромиктической стабильности) показывает, что последняя вносит относительно небольшой вклад в общую стабильность в летний период (рис. 3). Однако именно меромиктическая составляющая общей стабильности является ведущим фактором, предотвращающим перемешивание водного столба с октября по апрель (рис. 3). Ее абсолютная величина невелика, и, очевидно, длительная штормовая по-

года в период гомотермии может привести к разрушению стратификации, или, как это наблюдалось осенью 2005 г. – к значительному сокращению объема монимолимниона.



*Рис. 3. Изменение общей (черные точки) и меромиктической (связанной с градиентом минерализации, светлые точки) стабильности водной толщи пруда в мае 2004 – мае 2006 г. Пунктиром обозначен предполагаемый ход показателей осенью 2004 и зимой 2004-2005 г.*

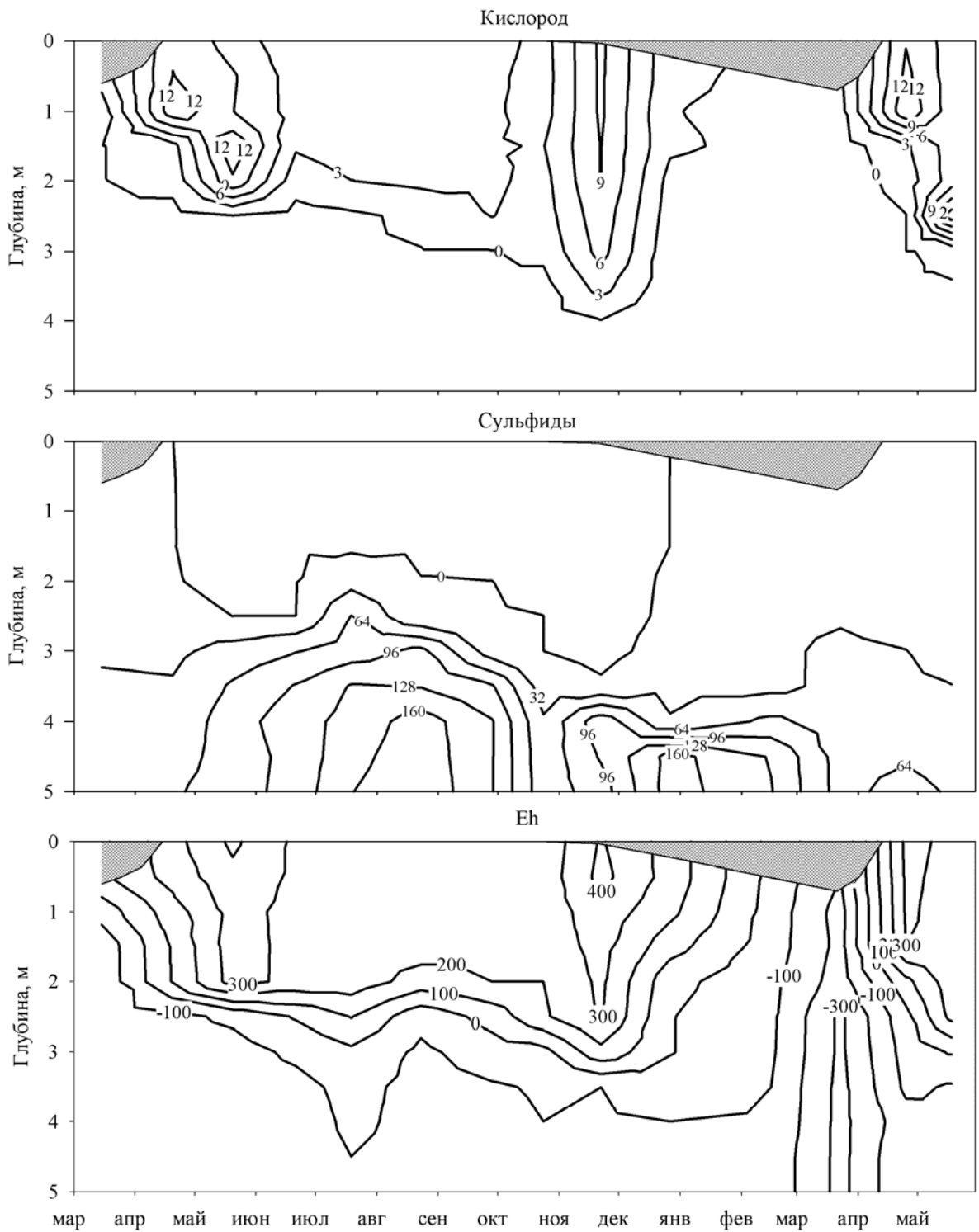
Наличие никогда не перемешиваемого с поверхностной водной массой нижнего слоя воды (монимолимниона) во многом определяет характерные особенности экосистемы пруда, в частности, его газовый режим и особенности распределения биогенных элементов.

**Газовый режим и окислительно-восстановительные условия.** Газовый режим Нижнего пруда формируется в результате одновременного протекания многих разнонаправленных процессов. При постоянной стратификации водного столба нижний неперемешиваемый слой воды, монимолимнион, отделен от фотического слоя барьером хемоклина с низкой скоростью диффузии веществ. При этом весь диффундирующий вниз из миксолимниона кислород потребляется в процессах деструкции органического вещества и хемосинтеза уже в зоне хемоклина, а в самом монимолимнионе протекают анаэробные микробиологические процессы. Это, в первую очередь, сульфатредукция ("сульфатное дыхание"), причем высокая концентрация сульфатов в воде пруда делает возможным накопление больших количеств ее конечных продуктов - сульфидов и сероводорода. Их соотношение зависит от рН воды и температуры; в среднем концентрация свободного сероводорода в монимолимнионе составляет 65-70% от его суммы с сульфидами. Образовавшийся сероводород окисляется на верхней границе монимолимниона в результате деятельности аноксигенных фототрофных бактерий и некоторых цианобактерий, осуществляющих аноксигенный фотосинтез, хемосинтеза тионовых бактерий, идущего с использованием кислорода или нитратов, а также за счет химических процессов.

К моменту установления постоянного ледового покрова (конец ноября) кислород в пруду регистрировался вплоть до глубины 3,5 м; его содержание в поверхностном слое воды составляло 9,6 мг/л (рис. 4). Сероводород в следовых количествах был обнаружен уже на глубине 2 м, в придонных слоях его содержание достигало 118 мг/л. (Здесь и далее, если это



не оговорено специально, под словом "сероводород" имеется в виду сумма свободного сероводорода и растворенных гидросульфидов).



**Рис. 4. Концентрации растворенного кислорода и сульфидной серы и величины окислительно-восстановительного потенциала в водной толще пруда в 2005-2006 гг.**

Полное исчерпание кислорода произошло менее чем за месяц после установления ледового покрова (рис. 4). В дальнейшем до разрушения ле-

дового покрова вся водная толща пруда оставалась анаэробной, и уже у нижней кромки льда в заметных количествах (~ 14 мг/л) регистрировался сероводород. В нижележащих слоях его концентрация была намного выше. В придонном слое в конце декабря она составила 171 мг/л и далее, к марту, постепенно уменьшалась до 44,2 мг/л.

За разрушением ледового покрова последовало быстрое насыщение поверхностных слоев воды кислородом, но в апреле, одновременно с ним в миксолимнионе оставались следовые количества (0,03 мг/л) сероводорода. В апреле-мае на глубине 1-2,5 м формировался максимум концентрации кислорода, связанный с интенсивным весенним развитием фитопланктона на этих горизонтах. С дальнейшим увеличением глубины концентрация кислорода резко снижалась до 0, и регистрировался сероводород (рис. 4).

С июня по сентябрь концентрация кислорода в миксолимнионе изменялась в пределах 3,51-5,65 мг/л, а сероводорода в монимолимнионе – 60-180 мг/л. В октябре, в условиях гомотермии (рис. 2 А) понижение уровня хемоклина повлекло за собой поступление в миксолимнион значительного объема воды, содержащей сульфиды и другие восстановители. Содержание кислорода в нем при этом снизилось до 1,6-2,9 мг/л. Концентрация сероводорода в монимолимнионе также понизилась, до 15-42,4 мг/л (рис. 4), видимо, из-за ускорения процессов диффузии в области хемоклина.

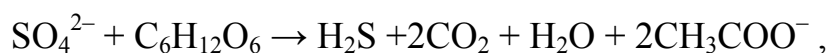
Изменения окислительно-восстановительного потенциала водной толщи хорошо согласуются с изменением содержания растворенного кислорода и сероводорода (рис. 4). В аэробном миксолимнионе в период открытой воды регистрируются окислительные условия, а в анаэробном монимолимнионе в период открытой воды и во всей водной толще в подледный период – восстановительные условия.

Еще одной особенностью пруда является высокое содержание в воде свободной углекислоты. Если в поверхностных горизонтах концентрация двуокиси углерода (рассчитанная по концентрации гидрокарбоната и значению рН) составляла в среднем 15 мг/л, то в придонных она могла достигать 360 мг/л (среднее – 144 мг/л).

В озерах с высоким содержанием бикарбонатов активная реакция воды определяется почти исключительно соотношением концентраций свободной углекислоты, ионов бикарбоната и карбоната.

В аэробных слоях воды это соотношение зависит от соотношения скоростей фотосинтеза (снижающего концентрацию  $\text{CO}_2$ ) и дыхания (увеличивающего ее). В пруду величина рН в аэробных слоях воды постоянно превышала 7,5, а во время интенсивного развития фитопланктона достигала 8,5.

В афотических слоях монимолимниона среди процессов, оказывающих влияние на активную реакцию среды в пруду, безусловно, преобладает сульфатредукция. При доминировании бактерий с неполным окислением органических веществ (наиболее обычные виды в пресных водоемах) бактериальное окисление органического вещества соответствует уравнению:



и в незабуференной среде рН смеси продуктов реакции в принципе может достичь 5,56 (среднее значение между рК уксусной и угольной кислот). Однако такая высокая кислотность среды далека от оптимума развития сульфатредуцирующих бактерий. Кроме того, в воде происходят и другие бактериальные процессы, которые также могут влиять на рН среды; в частности, водные микроорганизмы быстро потребляют образующийся ацетат. Поэтому, а также из-за высокой щелочности и буферной емкости воды (обусловленной присутствием значительного количества бикарбонатов), величина рН в монимолимнионе не опускалась настолько низко, и в период открытой воды изменялась в интервале 6,5-6,9, а в подледный период была, как правило, выше 7.

В зоне хемоклина в процессе анаэробного фотосинтеза и хемосинтеза тионовых бактерий сероводород окисляется до сульфат-иона. При преобладании хемосинтеза рН среды при этом может значительно снижаться. Однако в пруду низкая концентрация сероводорода в зоне, где еще регистрируются следы кислорода, необходимого для хемосинтеза, ограничивает скорость последнего, и поэтому минимума рН в хемоклине не наблюдалось.

**Биогенные элементы.** В период открытой воды в миксолимнионе Нижнего пруда концентрация общего фосфора в воде составляет (2005г.) – 170 мкг/л, неорганического – 70 мкг/л. В то же время в монимолимнионе содержание общего и неорганического фосфора намного выше – 1180 и 1020 мкг/л, соответственно.

Содержание нитритного и нитратного азота определяли только в 2004 г. Их средние концентрации в миксолимнионе (0-2 м) составили 5 и 61 мкг/л, в монимолимнионе – 12 и 53 мкг/л при небольших различиях между пробами. Доминирующей минеральной формой азота был аммонийный. Его среднее содержание в монимолимнионе в безледный период составило 1,67 мг/л, и было относительно стабильным. В поверхностном слое воды концентрация аммонийного азота колебалась в широких пределах. В подледный период она составляла 1,15-1,2 мг/л, после разрушения ледового покрова сначала резко, затем медленнее, снижалась до 0,015 мг/л в сентябре, а затем, в период гомотермии, вновь несколько увеличивалась.

Хотя мы не определяли общую концентрацию связанного азота, низкое отношение концентраций минерального азота и общего фосфора и характер их сезонной динамики позволяет предполагать, что именно азот, а не фосфор, является лимитирующим элементом для фитопланктона в приповерхностном слое воды.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В своем обзоре, посвященном меромиктическим озерам, Walker и Likens (1975) отметили, что эти водоемы привлекают значительное внимание лимнологов не только из-за своей редкости, но и из-за уникальных воз-

возможностей, которые они предоставляют для исследований в различных областях лимнологии.

Главная особенность таких водоемов – постоянное существование относительно стабильных вертикальных градиентов условий внешней среды. Однако любые градиенты термодинамически неравновесны, и поэтому меромиктические озера представляют собой квазистационарную систему, устойчивость которой либо непрерывно поддерживается за счет внутренних и/или внешних процессов, либо обусловлена только кинетическими ограничениями. Так или иначе, меромиктический характер перемешивания озер, видимо, представляет собой только временную стадию их развития (Nakala, 2004).

Обнаружение меромиктического характера перемешивания описываемого пруда представляет значительный интерес, прежде всего, как первый, насколько известно авторам, документированный случай меромиктии в пресных озерах лесостепной и степной зоны европейской части России. Мы полагаем, однако, что это связано не столько с уникальностью пруда, сколько со слабой изученностью малых озер региона.

Для поддержания стабильной стратификации пруда существенны как биологические процессы (в частности, седиментация карбоната кальция, вызываемая увеличением рН воды в фотической зоне в результате фотосинтеза), так и ежегодное опреснение поверхностных слоев воды вследствие таяния ледового покрова. Таким образом, пруд относится к водоемам с эндогенным типом меромиксиса, но отнесение его к какому-либо из классов в рамках известных классификаций (Hutchinson, 1957; Walker, Likens, 1975) затруднительно.

Полученные нами данные показывают, что объем мнимомлимниона пруда в течение безледного периода сокращается от >40% до <15% общего объема. Относительно небольшое дополнительное ветровое воздействие в осенний период может оказаться достаточным для полного разрушения мнимомлимниона и перемешивания всей водной толщи. Поэтому по характеру перемешивания Нижний пруд близок к условной границе между меромиктическими водоемами и водоемами с ограниченной голомиктией, в смысле Nakala (2004). Тем не менее, приведенные данные, а также не отраженные в данной статье отдельные наблюдения 2003 г. показывают, что с 2003 по 2006 г. полного перемешивания водной толщи пруда не происходило.

Своеобразие экосистемы пруда, разумеется, не ограничивается особенностями физико-химических условий. Они приводят к столь же необычному пространственному распределению гидробионтов различных таксономических групп и их сезонной динамики, особенности которых не могут быть объяснены без учета абиотических условий их развития. Данное исследование и данная публикация дает, как мы надеемся, информацию об этих условиях.

Авторы благодарят директора Ботанического сада к.б.н. С.В.Розно за любезно предоставленную возможность работы на территории сада.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Герасимов Ю.Л., Сятищев А.Н.** Динамика популяций ракообразных прудов Ботанического сада г. Самары в 1998-2000 гг. // Известия СНЦ РАН, 2001. – Т.3, №2. – С.303-309.
- Захаров Е.В.** Некоторые характеристики структуры макро- и мезозообентоса малых водоемов, расположенных на территории г. Самары // Самарская Лука :Бюлл., 2004. – № 15. – С. 260-269.
- Матвеев В.И., Гейхман Т.В., Соловьева В.В.** Самарские пруды как объект ботанических экскурсий. Самара: Изд-во Самарского педагогического ун-та, 1995. 44 с.
- Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н.** Методы исследования качества воды водоемов. – М.: Медицина, 1990. – 400 с.
- Руководство по химическому анализу морских вод.** РД 52.10.243-92. – СПб, Гидрометеиздат, 1993. – 264 с.
- Синицкий А.В., Захаров Е.В., Герасимов Ю.Л.** Современное экологическое состояние некоторых прудов г. Самары // Вестник СамГУ, Естественнонаучная серия. 2003. Спец. вып.2. – С.192-207.
- Уильямс У.Дж.** Определение анионов: Справочник. Пер. с англ. – М.: Химия, 1982 – 624 с. – **Унифицированные методы** анализа вод / Под ред. Ю.Ю. Лурье. – М., Химия, 1973. – 376 с.
- Филлипс О.** Динамика верхнего слоя океана. – М., 1969.
- Шиклеев С.М.** Грязи Шигонского района // Белое озеро. Природные лечебные богатства Куйбышевской области. – Куйбышев: Обл.изд-во, 1938.
- Cline, J. D.** Spectrophotometric determination of hydrogen sulfide in natural waters. // *Limnol. Oceanogr.*, 1969. –V.14. – P.454–458.
- Hakala A.** Meromixis as a part of lake evolution – observations and revised classification of true meromictic lake in Finland // *Boreal Environ. Res.*, 2004. – V.9, No 1. – P. 37-53
- Hutchinson G.E.** A treatise on Limnology. Vol. 1. Geography, Physics and Chemistry // John Wiley & Sons, 1957. – 1015 p.
- Idso S.B.** On the concept of lake stability // *Limnol. Oceanogr.* 1973. – V.19, No. 4. – P.681-683.
- Judd, J.H.** Lake stratification caused by runoff from street deicing. // *Water Res.*, 1970. – V.4. – P.521-532.
- Kjensmo J.** The influence of road salts on the salinity and meromictic stability of Lake Svinsjoen, south-eastern Norway // *Hydrobiology*, 1997. – V. 347. – P. 151-159
- Reynolds C.S.** The ecology of freshwater phytoplankton. – Cambridge Univ. Press, 1984. – 384 p.
- Solorzano, L.** Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. // *Limnol. Oceanogr.* 1969. – V.14. – P.799-801.
- Walker K.F., Likens G.E.** Meromixis and reconsidered typology of lake circulation patterns // *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 1975. V.19. – p.442-458.

Поступила в редакцию  
12 ноября 2006 г.