

УДК 504.455

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И СИНОПТИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© М.Г. Гречушникова

Ключевые слова: водохранилище; температура воды; растворенный кислород; первичная продукция.

В статье рассмотрены особенности пространственного и временного изменения основных характеристик водных масс Можайского водохранилища. Приведены результаты наблюдений самописцев температуры воды на рейдовой вертикали и результаты экспериментальных оценок внутрисуточных изменений первичной продукции водоема.

Говоря о вопросах контроля качества воды в водных объектах, необходимо учитывать пространственно-временные изменения характеристик, обусловленные сменой синоптической ситуации и интенсивностью внутриводоемных процессов. Наилучшим образом изучены пространственная и временная изменчивости таких характеристик, как температура, электропроводность, рН воды благодаря относительной простоте измерений и появлению мобильных термокондуктометров. Существенно облегчают многосуточные рейдовые наблюдения самописцы таких характеристик, как температура, электропроводность, растворенный кислород, мутность и освещенность. Широкого применения они пока не получили из-за существенной дороговизны, однако все больше используются в практике автономных полевых наблюдений. Уменьшение пространственного масштаба измерений гидрохимических характеристик свойственно главным образом такой характеристике, как растворенный кислород, благодаря развитию измерительных приборов. Другие же характеристики по-прежнему определяют преимущественно лабораторным методом, что ограничивает пространственную и временную частоту определения. Для изучения характерных масштабов изменчивости процессов сотрудниками УНБ Красновидово проводятся специальные полевые эксперименты для выявления пространственно-временной изменчивости характеристик, в т. ч. для верификации гидрологической модели водохранилищ, одномерной по ширине водоема.

Автоматическая регистрация самописцами внутрисуточного изменения характеристик воды позволяет по-новому взглянуть на многие внутриводоемные процессы, предоставляя подробные результаты с малой периодичностью записи серий большой продолжительностью, что невозможно или крайне трудно получить с использованием стандартных полевых термокондуктометров или иных приборов. Самописцы температуры воды в виде гирлянды, закрепленной на буйке, хорошо показывают временную изменчивость этой характеристики (рис. 1). Данные наблюдений из базы УНБ Красновидово показывают, что пространственные изменения температуры поверхности воды в пределах одного плеса могут достигать 3 °С, что связано с динамическими эффектами (апвеллинг холодной воды при сгоне у подветренного берега). Измерения в одной точке могут определять общий характер изменений (смену фаз термического режима, летние синоптические циклы, внутренние волны). По данным наблюдений 2011 г. выявлено, что особенности протекания процесса свободной конвекции обусловлены преимущественно характером стратификации водной толщи и мало зависят от облачности, ночного выхолаживания приподнятого слоя воздуха поверхности воды или соотношения значений их температур [1].

В качестве дополнительного примера использования самописцев можно привести измерения температуры воды главного притока Можайского водохранилища – р. Москвы (рис. 2). Зачастую данные срочных наблюдений недоступны исследователям в оперативном ре-

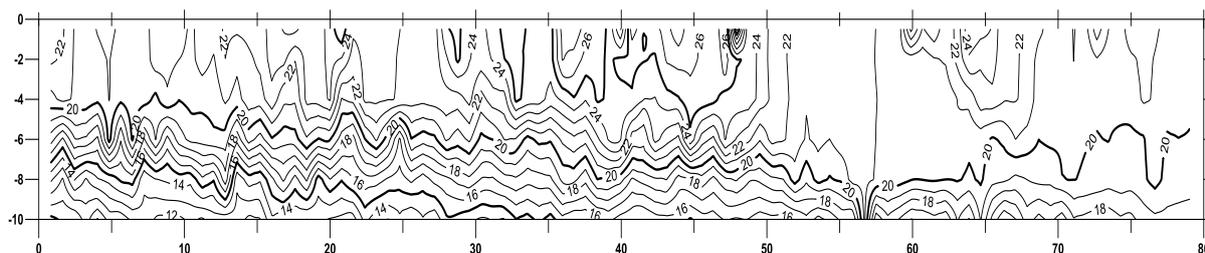


Рис. 1. Изменения температуры воды на рейдовой вертикали Красновидовского плеса Можайского водохранилища, зарегистрированные гирляндой самописцев с 14.06. по 01.09 2011

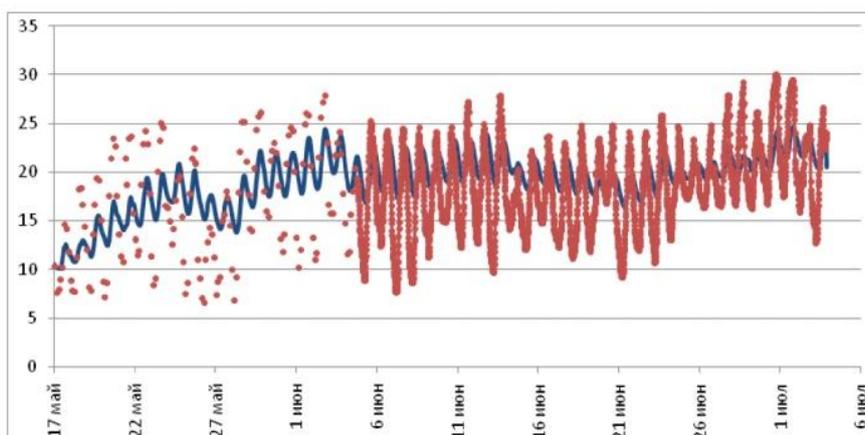


Рис. 2. Температуры воды в р. Москва д. Барсуки (линия) и температура воздуха в г. Можайск (точки) в 2010 г.

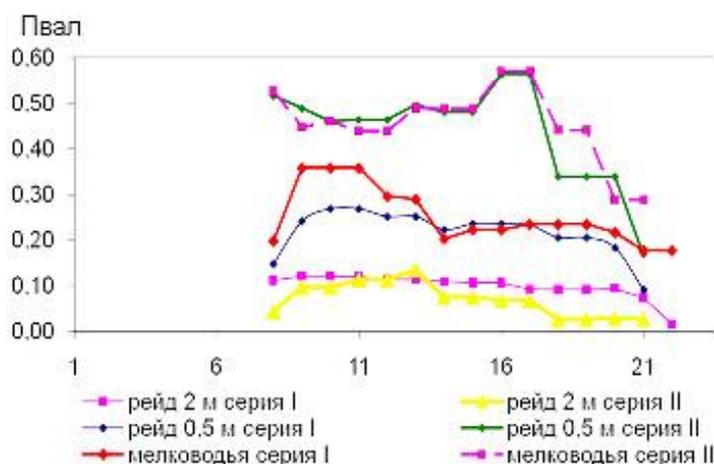


Рис. 3. Пвал ($\text{мгO}_2/(\text{л ч})$), осредненная за периоды наблюдений в 2011 г. на рейдовой вертикали и на мелководьях (для каждого часа осреднялись все имеющиеся результаты наблюдений для данного периода).

жиме, поэтому для краткосрочных прогнозов гидрологического состояния водохранилища и его притоков можно использовать эмпирическую связь температуры воды с температурой воздуха, причем для определения не только среднесуточных, но и срочных значений.

Температура воды определяет интенсивность биологических процессов, следовательно, можно ожидать некоторые их пространственные изменения в связи с неоднородным полем температуры. Одной из характеристик, дающих представление об интенсивности биологических процессов, является содержание растворенного кислорода. Наблюдения были организованы в пределах Красновидовского плеса Можайского водохранилища: производственная станция размещалась на буйке, заякоренном над затопленным руслом р. Москвы с глубиной около 12–13 м. Для исследования пространственной неоднородности пробы воды отбирались в центре мелководного залива с макрофитами в узкой прибрежной полосе в 200 м от буйка с глубинами не более 3–4 м. Экспозиция склянок длилась не менее 3

часов. Постановка производственной станции краткосрочной экспозиции обоснована в [2], хотя и критикуется Н.М. Минеевой и И.Л. Пыриной [3]. Короткая экспозиция (от 2 часов) дает возможность зарегистрировать изменения, связанные с внутрисуточным ходом освещенности и облачности, не успевают накопиться токсичные продукты метаболизма при интенсивном цветении, т. е. нет угнетения популяции. В 2011 г. наблюдения производились в течение двух периодов: 26.06–06.07 и 04–11.08. Оба периода наблюдений охватили фазы нагревания и охлаждения синоптических циклов. При этом, несмотря на то, что в июне-июле срочные температуры воздуха были выше (до 29 °С), фаза нагревания была более выражена в августе за счет большей разности температур наиболее теплого и наиболее холодного дня периода (от 9,4 до 27 °С), их внутрисуточный размах достигал 14,1 °С. Особенности погоды привели к формированию различной гидрологической структуры водной массы водохранилища и различному содержанию биогенных веществ (в частности, минерального фосфора), что обусловило

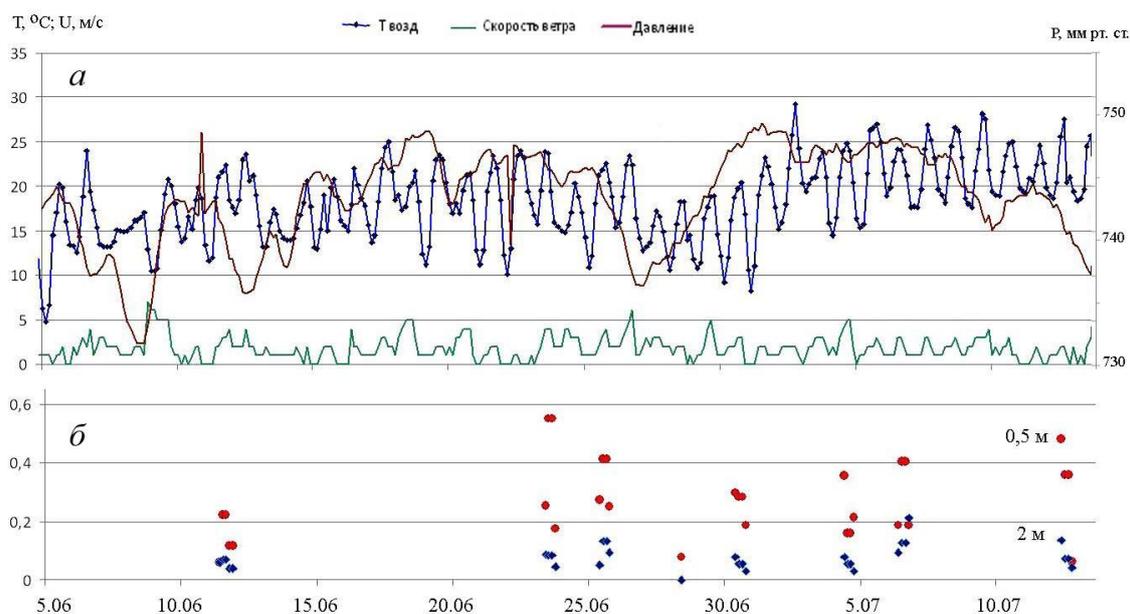


Рис. 4. Изменение метеорологических характеристик 05.06–14.07 2012 г. (а) и *Пвал* (мгО₂/л ч) на рейдовой вертикали на горизонтах 0,5 и 2 м (б)

особенности продукционных процессов в эти два периода (рис. 3).

Выражен различный внутрисуточный ход в сериях наблюдений: для первой серии характерен максимум валовой продукции до 12 ч. Это связано с уменьшением содержания минерального фосфора в дневные часы, отмеченного в ходе наблюдений 27.06, а также с развитием кучевой облачности во второй половине дня. В течение второй серии большая облачность, наоборот, наблюдалась в первой половине дня, а содержание минерального фосфора более 6 мкг/л лимитирующим фактором не являлось.

Эксперимент был повторен в течение лета 2012 г. с тем отличием, что постановку продукционной станции проводили не двумя сериями, а относительно равномерно в течение летнего периода. Период экспозиции составлял строго 4 часа, а постановка склянок происходила в 8, 12 и 16 ч. Наблюдения за внутрисуточным изменением продукции в 2012 г. проводились в различные фазы синоптических циклов (рис. 4).

По результатам наблюдений 2012 г. внутрисуточный ход валовой продукции наиболее выражен в фазы температурных максимумов синоптических циклов, когда различия значений *Пвал* составляют более 200 мгО₂/л ч. В эти дни (23.06, 06.07, 12.07, 03.08 и 06.08) отмечено внутрисуточное изменение прозрачности воды (SD) с с минимумом в середине дня между 12–16 ч (за исключением 12 июля, когда максимум интенсивности *Пвал* приходился на утренние часы из-за увеличения температуры воды более 24 °С). Наименее выражен суточный ход 30.06 и 23.07, т. е. когда наблюдения производились в дни после циклонической погоды, при более низких значениях температуры воды.

Хорошо прослеживается влияние фактора облачности в пределах одного синоптического цикла. В абсолютно безоблачный день 4.07 значения *Пвал* существ-

венно меньше, чем 6.07, когда наблюдалась облачность от 2 до 7 баллов, к тому же минимум *Пвал* 4.07 на горизонте 0.5 м приходится как раз на дневные часы с максимальной интенсивностью солнечного излучения. Помимо фактора облачности можно выявить и влияние фактора температуры воды: 12.07 и 26.07 снижение *Пвал* в дневные часы может быть связано с прогреванием верхнего слоя воды более 24 °С. Согласно экспериментальным исследованиям влияния подогрева на развитие фитопланктона температура выше 25 °С действует отрицательно [4]. Влияние температуры водной массы выражено также 3 и 6 августа, когда при сильном прогревании воды (более 24 и даже 27 °С) в вечерние часы существенно снижается интенсивность продукционных процессов.

Фактор «питания» хорошо прослеживается летом 2012 г., когда значения *Пвал* в утренние часы (с 8 до 12 ч) обычно превышали *Пвал* в вечерние часы (с 16 до 20 ч), что, очевидно, связано с уменьшением содержания минерального фосфора за дневной период и дополнительным его поступлением после периода ночной конвекции [5].

В целом, летом 2012 г. с редкими наблюдениями в выраженные фазы циклонической и антициклонической погоды происходило увеличение суточных величин *Пвал* в верхнем слое воды с ростом температуры воды. В 2011 г. с учащенными наблюдениями удалось отметить другую тенденцию – наибольшая суточная *Пвал* приходилась на дни с наименьшими из измеренных температурами воды. Наиболее высокие температуры поверхностного слоя воды наблюдались в периоды с повышенной стратификацией водной толщи, когда запас фосфора в поверхностных слоях был наименьшим из-за блокирования конвективного перемешивания устойчивым слоем скачка. Это подтверждает большое значение учета условий расслоения (положения и градиента плотности в слое температурного

скачка) для выявления закономерностей гидробиологических процессов.

Параллельные наблюдения за интенсивностью продукционных процессов над русловой ложбиной и мелководном заливе в 2011 г. выявили их пространственную неоднородность. В среднем за первую и вторую серию наблюдений значения валовой продукции на мелководье были выше, чем на рейдовой вертикали над затопленным руслом, в отдельные сроки превышение достигало 50 %. Возможные причины: дополнительное поступление фосфора из донных отложений в водную толщу при ветро-волновом взмучивании мелководья, окружающего залив; перемещение поверхностного слоя воды под воздействием ветра. Наибольшее различие имеет место при ветрах западного сектора, при которых в мелководном заливе наблюдается нагон, и значения продукции повышаются из-за возрастания численности водорослей. Случаи превышения значений валовой продукции на рейдовой вертикали над значениями с мелководий отмечались при преобладании ветров восточного сектора, а также южных ветров, перемещающих воду от правого берега «мимо» залива, где отбирались пробы на мелководье.

ВЫВОДЫ

В водоемах имеет место значительная пространственно-временная неоднородность физико-химических характеристик. Сезонные изменения хорошо изучены и классифицированы. Совершенствование системы измерений и метода математического моделирования внутриводоемных процессов позволяет изучать процессы на более мелком пространственно-временном масштабе, связанные со сменой условий синоптического и внутрисуточного масштаба. Проведенные учащенные наблюдения за продукционными процессами выявили существенную синоптическую неоднородность, выражающуюся в изменении абсолютных значений валовой продукции, и зависимость ее внутрисуточного хода от метеорологических условий, изменения содержания минерального фосфора в трофогенном слое водохранилища и условий плотностного расслоения. Наибольшая интенсивность продукционных процессов характерна для максимумов синоптических циклов.

Наступлению максимума интенсивности продукционных процессов во второй половине дня препятствует фактор сокращения содержания биогенных элементов и в некоторых случаях температурный фактор (превышение температурного оптимума). В оптимальных температурных и «кормовых» условиях (при температуре воды не более 23 °С) суточный максимум интенсивности продукции определяется облачностью. Пространственная неоднородность валовой продукции обусловлена сгонно-нагонными явлениями и процессами рециркуляции фосфора при взмучивании донных отложений в результате ветрового и конвективного перемешивания на открытых мелководьях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Эдельштейн К.К.* Новый подход к оценке репрезентативности данных мониторинга качества воды в водохранилищах – источниках водоснабжения. 2014, № 5 (81). С. 56-62.
2. *Гаврилов И.Т. и др.* Возможности и перспективы использования установок для изучения процесса фотосинтеза // Гидрохимические исследования поверхностных подземных вод района Можайского водохранилища. М.: Изд-во МГУ, 1977. С. 5-16.
3. *Минеева Н.М.* Первичная продукция планктона в водохранилищах Волги. Ярославль: Принтхаус, 2009. 279 с.
4. *Пырина И.Л., Девяткин В.Г., Елизарова В.А.* Экспериментальное изучение влияния подогрева на развитие и фотосинтез фитопланктона // Антропогенные факторы в жизни водоемов. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР. Л.: Изд-во «Наука», 1975. Вып. 30 (33). С. 67-84.
5. *Ершова М.Г. и др.* Внутрисуточная трансформация состава воды в Можайском водохранилище // Водные ресурсы. 2000. Т. 27. № 4. С. 485-497.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 12-05-00176, 13-05-00137)

Поступила в редакцию 24 июля 2014 г.

Grechushnikova M.G. SPATIAL AND SYNOPTIC VARIATIONS OF PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF MOJAI RESERVOIR

The article is dedicated to spatial and synoptic variations of main characteristics of water masses in Mojai reservoir. Results of loggers' measurements and experimental estimations of diurnal changes in the primary production of the reservoir are given.

Key words: reservoir; water temperature; dissolved oxygen; primary production.

Гречушникова Мария Георгиевна, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация, ведущий научный сотрудник кафедры гидрологии суши географического факультета, e-mail: allavis@mail.ru

Grechushnikova Mariya Georgiyevna, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, Leading Scientific Worker of Hydrology of Land Department of Geography Faculty, e-mail: allavis@mail.ru