

УДК 556.552

Д.И. Соколов<sup>1</sup>, О.Н. Ерина<sup>2</sup>, К.К. Эдельштейн<sup>3</sup>

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СТРАТИФИЦИРОВАННОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Изложена методика синхронных гидрологических экспресс-съемок трех полигонов в разных районах слабопроточного долинного Можайского водохранилища, выполненных 19 июля 2014 г. в рамках эксперимента «Тройной полигон-2014».

Плотность сетки из 58 станций (ст.) в трех полигонах составляла от 1 ст./14 га до 1 ст./5 га. Подобное сгущение станций, которого ранее не было при лимнологических работах на озерах и водохранилищах ни в России, ни за рубежом, позволило выполнить достоверную, статистически обоснованную оценку микромасштабной неоднородности (пятнистости) состава и свойств воды в разных районах многопесового водоема при одинаковых погодных условиях.

В результате съемок зафиксирована пятнистость распределения измеренных значений температуры (коэффициент вариации  $C_v$  достигал 0,03), содержания кислорода ( $C_v$  до 0,49) и хлорофилла «а» ( $C_v$  до 0,22)), обусловленная вертикальной стратификацией водных масс и изменяющимися в течение дня синоптическими условиями. Установлено, что пространственная изменчивость неконсервативных характеристик качества воды нередко выражена сильнее не в поверхностных слоях стратифицированного летом долинного водохранилища, а в слоях температурного скачка.

Результаты картографической и статистической оценок пространственной неоднородности характеристик качества воды, полученные в ходе эксперимента, можно использовать для совершенствования мониторинга водохранилищ – источников централизованного водоснабжения и водоемов рекреационного использования, для методического обоснования достоверной оценки воспроизводимости математическими моделями их гидроэкологического режима.

*Ключевые слова:* водохранилище, стратификация, съемки полигонов, качество воды.

**Введение.** О закономерностях изменения в годы с разной водностью температуры, электропроводности, плотности и химического состава воды в водохранилищах стало известно в 1960-х гг., когда лимнологи начали выполнять квазисинхронные гидролого-гидрохимические съемки водохранилищ Волжского каскада [Буторин, 1965, 1969; Ершова, 1968; Эдельштейн, 1971, 1991]. Выяснилось, что степень неоднородности характеристик воды в водохранилищах определяется, во-первых, генетическим составом речных водных масс, его изменчивостью из-за смены фаз речного режима [Ершова, 1980]; во-вторых, совокупностью процессов внутриводоемной трансформации исходных водных масс в основную водную массу водохранилища того или иного морфологического типа и разной проточности, зависящей от режима работы гидроузлов [Эдельштейн, 1991, 2005].

С появлением малоинерционных датчиков температуры, электропроводности воды и растворенного в ней кислорода их регистрация на ходу экспедиционного катера *in situ* показала, что на фоне макро-неоднородностей многолетнего и сезонного масштаба существует мезонеоднородность тех же характеристик воды синоптического масштаба вследствие смены погоды в периоды плотностной стратифицированности водных масс [Малютин, Эдельштейн, 1980; Лившиц, Литвинов, 1984]. Такая неоднородность

воды обусловлена не только ее генезисом и гидродинамикой, но и процессами биогенной трансформации состава воды. Активные продукционно-деструкционные процессы жизнедеятельности водной биоты определяют питьевые, рекреационные и технологические качества воды в местах водопользования.

Практически тот же набор факторов вызывает и нерегулярное появление микро-неоднородностей свойств воды, так называемую пятнистость, возникающую под воздействием внутрисуточной изменчивости метеорологических характеристик чаще всего в антициклоническую маловетренную или штормовую погоду [Гончаров и др., 2002; Даценко и др., 2005].

Интерес к пятнистости распределения характеристик воды обострился в связи с необходимостью достоверной, статистически обоснованной оценки воспроизводимости математическими моделями гидроэкологического режима водохранилищ – источников централизованного водоснабжения и водоемов рекреационного использования с целью разработки автоматизированных методов диагноза и прогноза экологического состояния уже эксплуатируемых и проектируемых водохранилищ различного хозяйственного назначения.

Очевидно, что при оценке адекватности рассчитанных по гидроэкологической модели среднесуточ-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Красновиловская учебно-научная база, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: Dmitriy.Sokolov@yandex.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Красновиловская учебно-научная база, науч. с., канд. геол. н.; e-mail: tamiblack@yandex.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: emek-05@mail.ru

ных значений любой характеристики необходимо учитывать возможную изменчивость этой характеристики в пределах исследуемой акватории, обусловленную внутрисуточными изменениями тепло- и водообмена, внутримассовыми динамическими, химико-биологическими процессами; нельзя полностью исключать и случайные методические ошибки в полевых наблюдениях и при отборе проб, их аналитической обработке, особенно при небольшой концентрации исследуемых веществ и организмов.

Однако по данным мониторинговых съемок, используемых при верификации и валидации гидроэкологических моделей, о состоянии водоема судят по единственному зондированию водной толщи на том или ином участке акватории в произвольный момент светлого времени. Модельный же расчет дает среднесуточные характеристики состава и качества воды, гораздо более репрезентативные и востребованные в водопроводной практике.

Таким образом, возникает необходимость статистически обоснованной количественной оценки микромасштабной пространственной изменчивости приоритетных характеристик качества воды в разных районах исследуемых водоемов. С этой целью нами выполнен на слабопроточном долинном Можайском водохранилище полевой эксперимент «Тройной полигон-2014», результаты которого анализируются в статье.

**Материалы и методы исследований.** Чтобы судить о возможном различии пространственной неоднородности состава и свойств воды в различных районах многоплексового водоема при одинаковых погодных условиях, было решено выполнить с трех моторных катеров синхронные гидролого-гидрохимические экспресс-съемки трех плесов (рис. 1), наиболее глубоководных в верховьях Можайского водохранилища (Бычковский плес), в его центральном районе (Красновидовский плес) и в низовьях у плотины Можайского гидроузла (Приплотинный плес).

Для каждого плеса была назначена равномерная сетка станций (рис. 1), включающая несколько станций в русловой ложбине (глубиной до 5, 13 и 19 м в полигонах I, II и III соответственно) и в менее глубоких участках – над затопленными поверхностями высокой поймы и склонами надпойменной террасы москворецкой долины.

Для съемок выбран период продолжительной солнечной погоды со слабым ветром переменного направления в низкую межень на притоках водоема. В день съемок 19 июля 2014 г. с начала наблюдений в 10:50 и до их окончания в 17:30 воздух прогрелся с 20 до 24 °С, кучевая облачность уменьшалась с 9 до 6 баллов, скорость сначала юго-западного, а потом юго-восточного и восточного ветра не превышала 1–2 м/с, ветер лишь рябил водную поверхность, находившуюся на 1 м ниже НПУ.

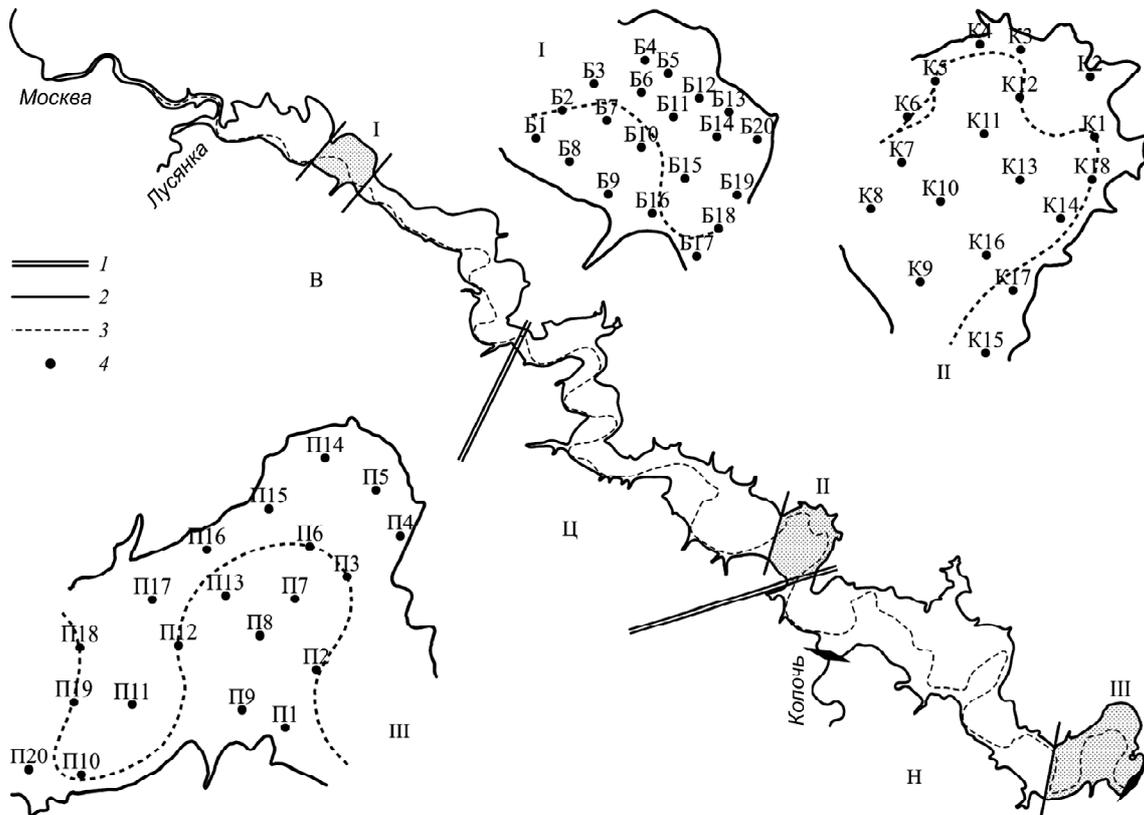


Рис. 1. Районирование Можайского водохранилища. Районы – верховый (В), центральный (Ц) и низовый (Н); плесы-полигоны – Бычковский (I), Красновидовский (II) и Приплотинный (III); границы районов (1), плесов (2); затопленная русловая ложбина Москва-реки (3); станции в синхронных съемках трех полигонов (4)

Fig. 1. Zoning of the Mozhayskoe reservoir. Zones: В – upper, Ц – central, Н – lower; stretches: I – Bychkovskiy, II – Krasnovidovskiy, III – Priplotinnyi; 1 – zone boundaries; 2 – stretch boundaries; 3 – submerged bed of the Moskva River; 4 – stations in synchronous surveys of three stretches

Для наибольшего сгущения сетки станций в полигонах для подробной фиксации экологического состояния водохранилища в часы наибольшей активности продукционно-деструкционных процессов мы включили в состав наблюдений:

– определение местоположения заякоренного катера с помощью GPS-метода. Плотность сетки станций (рис. 1) снижалась от верховьев к гидроузлу от 1 ст./5 га водной поверхности до 1 ст./9 га и 1 ст./14 га. Тем не менее подобное сгущение стан-

ций еще не производилось в лимнологических работах на озерах и водохранилищах ни в России, ни за рубежом;

– одновременное зондирование водной толщи термокондуктометром Pro30 и оксиметром ProODO фирмы «YSI» (США), поскольку удельная электропроводность гидрокарбонатно-кальциево-магниевой воды водохранилища служит надежным косвенным показателем не только ее минерализации, но и жесткости, а растворенный кислород – интегральным

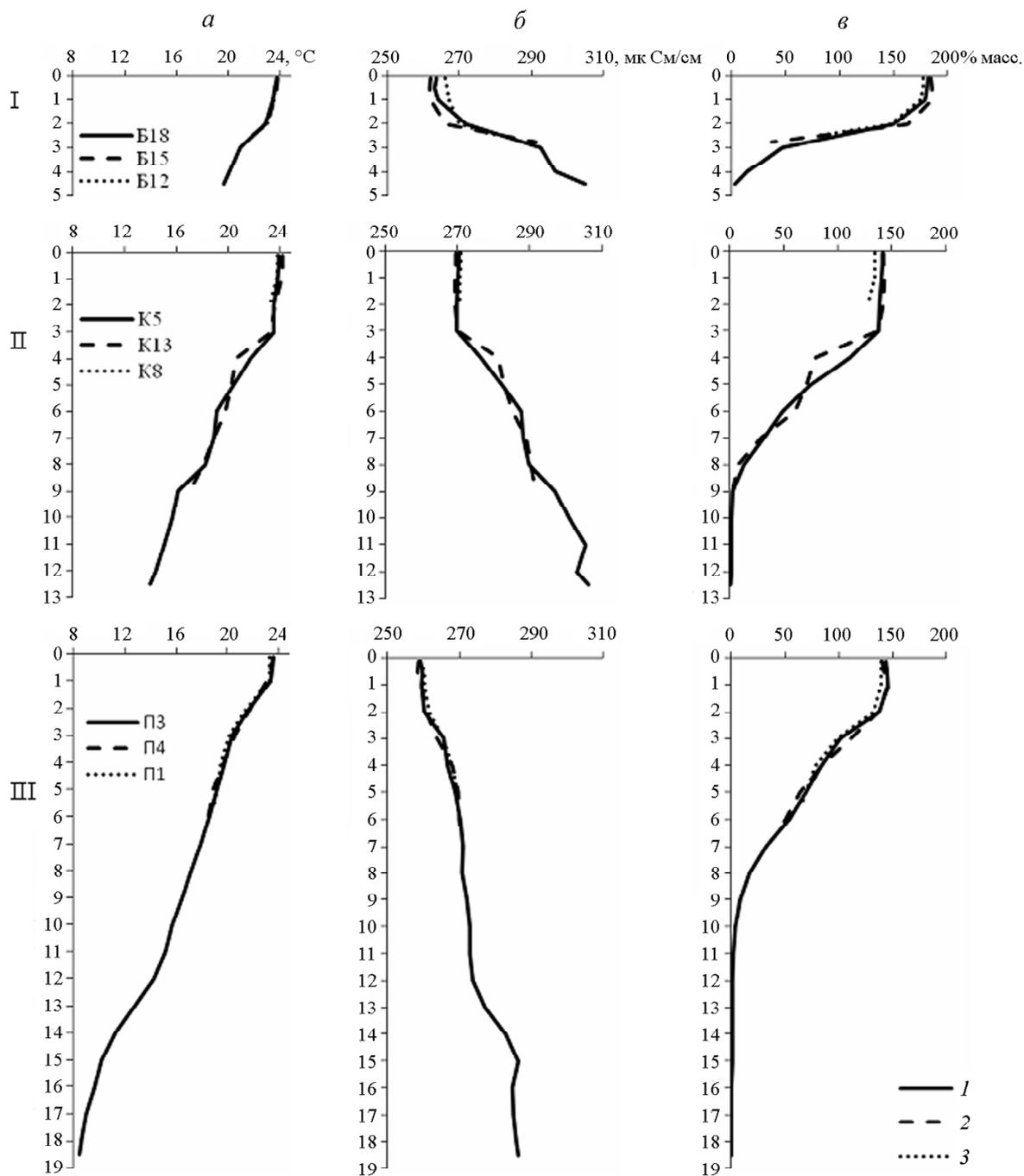


Рис. 2. Вертикальное распределение в верховом (I), центральном (II) и низовом (III) районах температуры, °C (а), удельной электропроводности воды  $K_{18}$ ,  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (б) и содержания в ней  $\text{O}_2$ , % нас. (в) над русловой ложбиной (1), над затопленной поймой (2) и на мелководье (3) (рядом с эпюрами – номера станций, см. рис. 1)

Fig. 2. Vertical distribution of water temperature, °C (a), conductivity  $K_{18}$ ,  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (b) and dissolved oxygen content DO, % (c) over the riverbed (1), over the submerged floodplain (2) and at shallow water (3) in the upper (I), central (II) and lower (III) zones (station numbers beside the diagrams – see fig. 1)

показателем интенсивности фотосинтеза органического вещества и его деструкции гидробионтами. Измеренная электропроводность приведена к температуре воды 18 °C ( $K_{18}$ );

– пробы заборной воды отбирали для лабораторного определения концентрации хлорофилла «а» по стандартной методике [ГОСТ..., 1999], это косвенная характеристика биомассы фитопланктона – основного компонента взвеси, определяющего мутность воды в водоеме при подобных гидрометеорологических условиях.

Важно, что выбранные характеристики состояния и состава воды не только разнородны и взаимонезависимы, но и наиболее репрезентативны [Эдельштейн, 2014а], так как вероятная погрешность определения каждой из них многократно меньше диапазона их пространственной изменчивости.

#### Результаты исследований и их обсуждение.

Анализ полученных данных позволил выявить следующие особенности пространственного распределения выбранных характеристик качества воды.

Во-первых, водная масса на всех 58 станциях трех полигонов была сильно стратифицирована не только термически, но и по минерализации и содер-

жанию растворенного кислорода (рис. 2). В полуденные часы прогретый до 24 °C поверхностный перемешанный слой воды с минимальной минерализацией 260–270 мг/л и пересыщенный кислородом до 140–160% нас. подстилался дневным пикноклином в центральном районе на глубине 3–4 м. В остальной толще эпилимниона, расположенной ниже, наблюдалось плавное снижение с глубиной температуры и содержания растворенного кислорода и повышение минерализации до бровки русловой ложбины (глубина 8–9 м в центральном районе). В Приплотинном плесе слой сезонного температурного скачка был погружен на глубину 13–15 м. В этом же слое находился и хемоклин, глубже которого в анаэробном гипolimнионе минерализация достигала 290 мг/л, а в Красновидовском плесе она была еще больше (рис. 2, II б).

Во-вторых, зафиксирована пятнистость распределения измеренных значений температуры, содержания кислорода и хлорофилла «а», изображенная на картах каждого плеса (рис. 3). Лишь минерализация в поверхностном слое оказалась практически одинаковой, особенно в основной водной массе водохранилища, занимающей летом центральный и низовый



Рис. 3. Распределение в поверхностном слое воды температуры, °C (а), содержания растворенного кислорода, мг/л (б) и хлорофилла «а», мкг/л (в) в Бычковском (I), Красновидовском (II) и Приплотинном (III) плесах Можайского водохранилища в полуденное время 19 июля 2014 г.

Fig. 3. Distribution of water temperature, °C (a), dissolved oxygen content DO, mg/l (б) and chlorophyll «а», mg/l (в) in the surface layer of Bychkovskiy (I), Krasnovidovskiy (II) and Priplotinniy (III) stretches of the Mozhaysk reservoir at midday, July 19, 2014

районы, на это указывают значения относительно небольшого диапазона измеренных величин электропроводности воды  $\Delta K$ , стандартного отклонения  $\sigma K$  и коэффициента их вариации  $Cv_K$  (табл. 1).

В Бычковском плесе (рис. 3, I) утренний небольшой юго-западный ветер переместил воды тонкого нагретого слоя, особенно пересыщенные кислородом, к кромке зарослей макрофитов на мелководье у восточного берега, а у подветренного правого берега образовалось пятно более холод-

ной (почти на 1 °С) и менее насыщенной кислородом (на 2 мг/л) воды.

В Красновидовском плесе ветер, изменившийся к полудню на восточный, обусловил смену нагона на левый берег сгоном теплой воды на юго-запад, отогнав в 1,5 раза более обогащенные хлорофиллом «а» воды трофогенного слоя от северо-восточного берега к центру плеса (рис. 3, II в).

У особенно глубоководном Приплотинном плесе, где зондирование проводилось дольше всего

Т а б л и ц а 1

**Вариация температуры (Т), электропроводности (К<sub>18</sub>) и содержания растворенного кислорода (РК) в отдельных слоях водной толщи верхового, центрального и низового районов Можайского водохранилища в полуденное время 19 июля 2014 г.**

Глубина, м	n*	Температура, °С				Электропроводность, мкСм/см				Кислород, % нас.			
		T <sub>ср.</sub>	ΔT	σ <sub>T</sub>	Cv <sub>T</sub>	K <sub>ср.</sub>	ΔK	σ <sub>K</sub>	Cv <sub>K</sub>	PK <sub>ср.</sub>	ΔPK	σ <sub>PK</sub>	Cv <sub>PK</sub>
Бычковский плес													
0	20	23,6	1,2	0,3	0,01	267	13	4	0,02	175	33	10	0,05
1	20	23,4	0,7	0,2	0,02	267	13	4	0,02	172	31	10	0,06
2	20	22,7	1,2	0,4	0,03	275	21	6	0,02	133	77	22	0,16
3	17	21,3	2,2	0,7	0,01	289	24	8	0,03	56	101	27	0,49
4	4	20,3	0,4	0,2	0,01	303	30	14	0,05	21	15	6	0,31
Красновидовский плес													
0	18	24,0	1,2	0,3	0,01	270	2	1	0,00	141	14	3	0,02
2	18	23,5	1,3	0,3	0,02	270	6	1	0,00	138	25	7	0,05
4	15	21,1	1,3	0,4	0,01	279	5	2	0,01	95	32	10	0,11
6	14	19,6	0,8	0,2	0,01	286	3	1	0,00	54	16	5	0,09
8	13	17,9	0,9	0,2	0,03	290	2	1	0,00	10	14	4	0,43
9	12	16,6	1,1	0,4	0,01	293	7	2	0,01	3	3	1	0,36
10	10	15,6	0,7	0,2	0,01	299	7	2	0,01	2	1	0	0,14
12	4	14,4	0,5	0,2	0,01	304	2	1	0,00	2	1	1	0,29
Приплотинный плес													
0	20	23,8	1,4	0,3	0,03	260	2	1	0,00	145	10	3	0,02
2	20	21,7	2,9	0,7	0,01	261	4	1	0,00	135	33	8	0,06
4	20	19,8	0,7	0,2	0,01	267	2	1	0,00	84	17	5	0,05
6	20	18,6	1,0	0,3	0,01	270	2	0	0,00	53	26	8	0,15
8	17	17,2	0,6	0,2	0,01	271	3	1	0,00	15	9	3	0,20
10	16	15,7	0,5	0,2	0,02	273	2	1	0,00	3	3	1	0,28
12	15	13,9	1,2	0,3	0,03	276	4	2	0,01	2	1	0	0,26
14	11	11,3	1,1	0,3	0,02	284	6	2	0,01	1	0	0	0,00
16	7	9,7	0,6	0,2	0,02	285	7	2	0,01	1	0	0	0,00
18	7	8,8	0,5	0,2	0,02	286	6	2	0,01	1	1	1	–
Все водохранилище													
0	58	23,8	1,5	0,3	0,01	266	16	5	0,02	154	57	17	0,11
1	58	23,8	1,5	0,4	0,02	265	17	5	0,02	154	58	16	0,11
2	58	23,6	2,2	0,4	0,02	265	16	5	0,02	153	55	15	0,10
3	58	22,6	3,4	0,9	0,04	269	28	7	0,03	135	77	14	0,10
4	52	21,5	3,4	1,2	0,06	274	38	12	0,04	97	129	35	0,36

\* Число измерений в слое.

Т а б л и ц а 2

**Вариация концентрации хлорофилла «а», мкг/л, в поверхностном слое трех районов Можайского водохранилища 19 июля 2014 г.**

Плес	$n^*$	Средняя величина	$\Delta$	$\sigma$	$C_v$
Бычковский	20	33,5	20,8	5,4	0,16
Красновидовский	18	6,7	5,6	1,2	0,18
Приплотинный	20	5,7	5,7	1,3	0,22
Все водохранилище	58	15,6	38,4	13,5	0,87

\* Число проб.

(до 17:30), результаты картирования демонстрируют еще более сильно выраженную термическую и хлорофилльную пятнистость из-за продолжавшегося стока воды из залива левого берега и от плотины на запад, к правому вогнутому берегу (рис. 3, III а, в). В этом плесе коэффициент вариации значений концентрации хлорофилла оказался наибольшим (табл. 2).

Приводимые в табл. 1 величины  $\sigma$  сходны с полученными в предшествующих полигонных экспресс-съемках [Даценко и др., 2005, Эдельштейн, 2014б]. Статистические оценки (табл. 1) показывают, что пространственная изменчивость неконсервативных характеристик воды – температуры и содержания кислорода – нередко сильнее выражена не в поверхностных слоях стратифицированного летом долинного водохранилища, а в слоях температурного скачка. Так, в слое на глубине 2–3 м в Бычковском плесе, 8 м в Красновидовском плесе и 10–12 м в Приплотинном плесе значения коэффициента вариации наибольшие.

Такое же аномальное вертикальное распределение  $C_v$  температуры, концентрации взвеси, минерального и общего фосфора, кислорода отмечено и в подобном полевом эксперименте «Полигон-2011» [Пуклаков и др., 2015], проводившемся дольше суток только в Красновидовском плесе при несколько бо-

лее ветреной погоде. Причиной большей изменчивости перечисленных характеристик в слоях с максимальными величинами их вертикальных градиентов были пологие внутренние волны.

#### Выводы:

– результаты выполненного на Можайском водохранилище полевого эксперимента «Тройной полигон-2014» подтверждают, что в антициклоническую маловетренную погоду под воздействием внутрисуточной изменчивости метеорологических характеристик возникает микромасштабная неоднородность свойств воды – так называемая пятнистость. Пространственная изменчивость неконсервативных характеристик качества воды может быть отчетливо выражена не только в поверхностных слоях стратифицированного летом долинного водохранилища, но и в слоях температурного скачка;

– в методическом отношении несомненно, что при подобной пятнистости неконсервативных характеристик качества воды  $X_i$  в водной массе водохранилища необходимо при мониторинге получать наиболее вероятное среднее значение  $X_{cp}$ . Статистически значимая средняя величина генеральной совокупности точек в любом слое воды в полигоне находится в пределах доверительного интервала ( $ДИ = X_{cp} \pm 3\sigma_x/n^{0.5}$ ) с обеспеченностью  $p = 99,7\%$ ;

– приведенные в табл. 1 величины  $\sigma_x$  сходны с полученными в предшествующих полигонных экспресс-съемках. Однако в верховом районе, занятом фронтальной зоной, в которой в результате смешения речных водных масс формируется основная водная масса водохранилища, значения коэффициентов вариации больше, поэтому доверительный интервал рекомендуется принимать более широким и при мониторинге, и при валидации диагностических модельных расчетов гидроэкологического режима водохранилища, и при прогнозировании синоптических изменений характеристик качества воды.

**Благодарности.** Работа выполнена за счет гранта РФФИ (проект № 15-05-06108).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Буторин Н.В. К изучению водных масс Рыбинского водохранилища // Тр. ИБВВ АН СССР. 1965. Т. 7(10). Ч. 2. С. 10–25.

Буторин Н.В. Гидрологические процессы и динамика водных масс в водохранилищах волжского каскада. Л.: Наука, 1969. 322 с.

Гончаров А.В., Еришова М.Г., Сахарова М.И. и др. Гидрологическая структура и распределение планктона в стратифицированном водохранилище в условиях ветрового воздействия // Биология внутренних вод. 2002. № 2. С. 38–45.

ГОСТ 17.1.4.02–90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла «а». М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. 12 с.

Даценко Ю.С., Эдельштейн К.К., Гончаров А.В. и др. Изменчивость гидроэкологических характеристик водных масс в центральном плесе Можайского водохранилища // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, № 3. С. 352–360.

Еришова М.Г. О применении статистических методов для выделения водных масс // Бюлл. ИБВВ. 1968. № 2. С. 66–70.

Еришова М.Г. Статистическая оценка неоднородности вод Можайского водохранилища // Комплексные исследования водохранилищ. Вып. 5. М.: МГУ, 1980. С. 69–77.

Лившиц В.Х., Бархатова И.В., Литвинов А.С. Пространственно-временная изменчивость температуры воды в Рыбинском водохранилище по данным автономных дистанционных измерений // Биология внутренних вод. Информ. бюлл. 1984. № 63. С. 64–67.

Малютин А.Н., Эдельштейн К.К. Пространственная неоднородность гидрологических характеристик в водохранилище // Комплексные исследования водохранилищ. Вып. 5. М.: МГУ, 1980. С. 56–68.

Пуклаков В.В., Даценко Ю.С., Гончаров А.В. и др. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагност. прогноз). М.: Перо, 2015. 286 с.

Эдельштейн К.К. Об изучении водных масс малых водохранилищ // Комплексные исследования водохранилищ. Вып. 1. М.: МГУ, 1971. С. 27–32.

*Эдельштейн К.К.* Водные массы долинных водохранилищ. М.: МГУ, 1991. 176 с.

*Эдельштейн К.К.* Структурная гидрология суши. М.: ГЕОС, 2005. 316 с.

*Эдельштейн К.К.* Гидрология озер и водохранилищ. М.: Перо, 2014а. 399 с.

*Эдельштейн К.К.* Новый подход к оценке репрезентативности данных мониторинга качества воды в водохранилищах – источниках питьевого водоснабжения // ВодаMagazine. 2014б. № 7 (83). С. 36–43.

Поступила в редакцию 19.11.2016  
Принята к публикации 02.06.2016

**D.I. Sokolov<sup>1</sup>, O.N. Erina<sup>2</sup>, K.K. Edelshtein<sup>3</sup>**

#### VARIABILITY OF HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS IN A STRATIFIED RESERVOIR

The procedure of rapid synchronous hydrological surveys of three polygons in different parts of the slow-circulating valley Mozhaisk reservoir performed on July 19, 2014, under the «Triple polygon–2014» experiment is presented.

The grid density of 58 stations (st.) within the three polygons ranged from 1 st. per 14 ha to 1 st. per 5 ha. Such stations concentration was never reached during limnological surveys on lakes and reservoirs, either in Russia or abroad. This made it possible to perform a reliable, statistically valid estimate of a microscale heterogeneity (patchiness) of water composition and properties in different parts of a multi-stretch reservoir under the same weather conditions.

Survey data showed the patchiness of measured values of temperature (coefficient of variation  $C_v$  reaching 0.03), oxygen content ( $C_v$  up to 0.49) and chlorophyll «a» ( $C_v$  up to 0.22), due to water masses vertical stratification and changing synoptic conditions during the day. It was detected that the spatial variability of non-conservative water quality indices is often more pronounced in thermocline layers rather than the surface layers of summer-stratified valley reservoir.

Results of cartographical and statistical evaluation of spatial heterogeneity of water quality indices obtained during the experiment can be applied to improve the monitoring of reservoirs – the centralized water supply sources and recreational centers, and suggest the procedures for the simulation of their hydro-ecological regime by mathematical models.

*Key words:* reservoir, stratification, polygonal survey, water quality.

*Acknowledgements.* The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project N 15-05-06108).

#### REFERENCES

*Butorin N.V.* Gidrologicheskie processy i dinamika vodnyh mass v vodohranilishhah volzhskogo kaskada [Hydrological processes and dynamics of water masses in reservoirs of the Volga cascade], Leningrad, Nauka, 1969, 322 p. (in Russian).

*Butorin N.V.* K izucheniju vodnyh mass Rybinskogo vodohranilishha [On the researches of water masses of Rybinsk reservoir], Tr. IBVV AN SSSR, 1965, vol. 7(10), pt 2, pp. 10–25 (in Russian).

*Datsenko Yu.S., Edelshtein K.K., Goncharov A.V. et al.* Izmenchivost' gidroekologicheskikh harakteristik vodnyh mass v central'nom plese Mozhajskogo vodohranilishha [Variations in the hydroecological characteristics of water masses in the central pool of the Mozhaisk reservoir], Vodnye resursy, 2005, vol. 32, no 3, pp. 352–360 (in Russian).

*Edelshtein K.K.* Gidrologija ozer i vodohranilishh [Hydrology of lakes and reservoirs], Moscow, Pero, 2014a, 399 p. (in Russian).

*Edelshtein K.K.* Novyj podhod k ocenke reprezentativnosti dannyh monitoringa kachestva vody v vodohranilishhah-istochnikah pit'evogo vodosnabzhenija [A new approach to evaluate the representativeness of water quality monitoring data in reservoirs –

drinking water supply sources], VodaMagazine, 2014b, no 7(83), pp. 36–43 (in Russian).

*Edelshtein K.K.* Ob izuchenii vodnyh mass malyh vodohranilishh [On the research of water masses in small reservoirs], Kompleksnye issledovanija vodohranilishh, iss. 1, Moscow, MSU, 1971, pp. 27–32 (in Russian).

*Edelshtein K.K.* Strukturnaja gidrologija sushi [Structural hydrology of land], Moscow, GEOS, 2005, 316 p. (in Russian).

*Edelshtein K.K.* Vodnye massy dolinnyh vodohranilishh [Water masses in valley reservoirs], Moscow, MSU, 1991, 176 p. (in Russian).

*Ershova M.G.* O primenenii statisticheskikh metodov dlja vydelenija vodnyh mass [On application of statistical methods to define water masses], Bull. IBVV, 1968, no 2, pp. 66–70 (in Russian).

*Ershova M.G.* Statisticheskaja oценка neodnorodnosti vod Mozhajskogo vodohranilishha [Statistical estimation of waters heterogeneity in the Mozhaisk reservoir], Kompleksnye issledovanija vodohranilishh, iss. 5, Moscow, MGU, 1980, pp. 69–77 (in Russian).

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geography; *e-mail:* Dmitry.Sokolov@yandex.ru

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Scientific Researcher, PhD. in Geography; *e-mail:* tamiblack@yandex.ru

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail:* emek-05@mail.ru

*Goncharov A.V., Ershova M.G., Sakharova M.I. et al.* Hidrologičeskaja struktura i raspredelenie planktona v stratificirovannom vodohranilishhe v uslovijah vetrovogo vozdejstvija [Hydrological structure and plankton distribution in a stratified reservoir under wind exposure], *Biologija vnutrennih vod*, 2002, no 2, pp. 38–45 (in Russian).

GOST 17.1.4.02–90. Voda. Metodika spektrofotometričeskogo opredelenija hlorofilla «a» [Water. Spectrophotometric determination of chlorophyll «a»], Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 1999, 12 p. (in Russian).

*Livshits V.Kh., Barkhatova I.V., Litvinov A.S.* Prostranstvenno-vremennaja izmenčivost' temperatury vody v Rybinskom vodohranilishhe po dannym avtonomnyh distancionnyh izmerenij

[Space-time variability of water temperature in Rybinsk reservoir according to autonomous remote metering], *Biologija vnutrennih vod*, Inform. bull., 1984, no 63, pp. 64–67 (in Russian).

*Malutin A.N., Edelshtein K.K.* Prostranstvennaja neodnorodnost' gidrologičeskikh harakteristik v vodohranilishhe [Spatial inhomogeneity of hydrological characteristics in reservoirs], *Kompleksnye issledovanija vodohranilishh*, iss. 5, Moscow, MSU, 1980, pp. 56–68 (in Russian).

*Puklakov V.V., Datsenko Yu.S., Goncharov A.V. et al.* Hidroekologičeskij režim vodohranilishh Podmoskov'ja (nabljudenija, diagnoz, prognoz) [Hydroecological regime of reservoirs near Moscow (observations, diagnosis, forecast)], Moscow, Pero, 2015, 286 p. (in Russian).

Received 19.11.2016

Accepted 02.06.2016