

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ В ВЕРХНЕВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

Анализируются межгодовые, сезонные, суточные и внутрисуточные колебания уровня воды в верхневолжских водохранилищах. Сезонные изменения уровня воды сравниваются с диспетчерскими графиками режима работы водохранилищ. Обсуждаются возможности уточнения площадей и оценивается влияние параметров уровня режима на рыбопродуктивность водоемов.

Введение

Межгодовые, сезонные, суточные и внутрисуточные колебания уровня воды в водохранилищах являются важнейшими показателями их гидрологического режима. Основное наполнение водохранилищ Верхней Волги осуществляется водами весеннего половодья. В связи с этим максимальный уровень наблюдается в мае–июне, а минимальный – в период предполоводной сработки (март–апрель). Полезный объем Ивановского, Угличского и Горьковского водохранилищ на порядок меньше суммарного объема притока, что приводит к очень быстрому их наполнению (16–35 сут) и необходимости поддержания уровня воды с мая по декабрь на отметке, близкой к нормальному подпорному уровню (**НПУ**). Полезный объем Рыбинского водохранилища всего в 2,1 раза меньше среднего многолетнего поступления воды. Поэтому в течение двух месяцев (апрель–май) приток воды более чем в 2,5 раза превышает сброс и наполнение водохранилища продолжается в среднем 50–60 сут [1]. Рыбинское водохранилище осуществляет многолетнее регулирование стока р. Волга, Горьковское – сезонное, Угличское и Ивановское – ограниченное сезонное, недельное и суточное регулирование стока.

Водные ресурсы водохранилищ должны использоваться в интересах гидроэнергетики, водного транспорта, сельского хозяйства,

С.А. Поддубный*,
доктор
географических наук,
заместитель
директора
по научной работе,
ФГБУН Институт
биологии
внутренних вод
им. И.Д. Папанина
Российской
академии наук



коммунального и промышленного водоснабжения, рыбного хозяйства, рекреации и санитарных попусков. Однако многолетняя практика показала, что экосистемы многих водохранилищ, в том числе и рассматриваемых, формировались под влиянием инженерных решений, отстаивающих, прежде всего, интересы энергетики, водного транспорта и борьбы с наводнениями. Вот почему абиотические и биотические составляющие на многих водохранилищах в неполной мере соответствуют нормальному функционированию экосистем, не позволяют им производить воду нормативного качества и обладать высоким биопродукционным потенциалом [2]. В частности, к одному из факторов, ограничивающих потенциальную рыбопродуктивность водохранилищ, относится неблагоприятный сезонный режим уровня, закрепленный правилами эксплуатации их водных ресурсов.

* Адрес для корреспонденции: spod@ibiw.yaroslavl.ru

Другим важным следствием колебаний уровня воды в водохранилищах является изменение морфометрических характеристик водоемов. Поддержание уровня воды ниже или выше НПУ в течение многолетнего периода может привести к необходимости уточнения как значения самого НПУ, так и величин площадей и объемов по интервалам глубин. Изменение морфометрии повлияет на оценку ряда важных абиотических и биотических показателей водных масс водохранилищ и на общую оценку состояния их экосистем.

Цель настоящей работы заключается в анализе многолетних колебаний параметров уровня режима верхневолжских водохранилищ, оценке соответствия сезонных изменений уровня диспетчерским графикам режима работы водохранилищ, оценке возможностей уточнения площадей водохранилищ, определении оптимальных параметров уровня режима для повышения рыбопродуктивности водохранилищ.

Материал и методы исследования

В работе использованы литературные данные по многолетним изменениям уровня режима верхневолжских водохранилищ, дополненные материалами регулярных наблюдений Рыбинской гидро-

Таблица 1

Проектные показатели уровня режима верхневолжских водохранилищ

Водохранилище	Показатель (м БС)			
	ФПУ	НПУ	УНС	УМО
Иваньковское	124,2	124,0	120,5	119,5
Угличское	113,4	113,0	109,0	109,0
Рыбинское	102,4	101,81	98,31*	96,9
Горьковское	84,0	84,0	82,0	81,0

Примечание: ФПУ – форсированный проектный уровень, УНС – уровень нормальной предполоводной сработки, УМО – уровень мертвого объема, * – при прогнозе средних и маловодных половодий сработка водохранилища производится до отметки 99,0–100,0 м БС.

Таблица 2

Повторяемость (П) и обеспеченность (О) проектных показателей уровня режима верхневолжских водохранилищ

Водохранилище	Показатель (%)							
	ФПУ		НПУ		УНС		УМО	
	П	О	П	О	П	О	П	О
Иваньковское	24	95	2	100	8	64	4	83
Угличское	26	64	25	74	8	96	8	96
Рыбинское	–	–	35	68	28	62	12	97
Горьковское	38	70	38	70	7	96	2	100

метеообсерватории [1, 3]. Анализировались среднемесячные и среднесуточные уровни воды, минимальные уровни предполоводной сработки и максимальные уровни весеннего наполнения. Данные по уровням воды Иваньковского водохранилища, а также диспетчерские графики режима работы верхневолжских водохранилищ любезно предоставлены ОАО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» им. С.Я. Жука». Исследуемый период для водохранилищ составил с 1947–1956 по 2010 гг. Все уровни воды в водохранилищах даны в Балтийской системе (БС).

Результаты и их обсуждение

Межгодовые колебания уровня

Основными факторами, определяющими в водохранилищах размах колебаний уровня воды и их периодичность служат утвержденные значения уровня воды, ограничивающие полезный и противопаводковый объемы водохранилища, диспетчерские правила регулирования стока гидроузлом; гидрометеорологические и ландшафтные условия формирования стока на водосборе водохранилища; морфологические особенности ложа водоема [4]. Проектные НПУ Иваньковского, Угличского, Рыбинского и Горьковского водохранилищ составляет 124,0, 113,0, 101,81 и 84,0 м, соответственно. Весной при пропуске половодья допускается кратковременная форсировка уровня до 20–40 см над НПУ. Уровень предполоводной сработки водохранилищ регламентируется правилами использования их водных ресурсов (табл. 1, 2).

Анализ межгодовых колебаний уровня воды верхневолжских водохранилищ позволил выявить следующие особенности. В Иваньковском водохранилище средний многолетний НПУ составил 124,25 м с обеспеченностью 95 %. Водохранилище практически весь период эксплуатации находилось в режиме постоянной ФПУ. Амплитуда многолетних колебаний ФПУ не превышала 0,47 м (рис. 1 а). Средний многолетний УНС составил 120,35 м при обеспеченности 68 %. Амплитуда колебаний УНС за многолетний период достигала 5,64 м, а повышение уровня в период наполнения изменялось от 1,54 до 7,28 м со средней величиной 3,9 м. Такой разброс в значениях повышения уровня обуславливался тем, что в начальный период эксплуатации водохранилище срабатывалось до УМО, а в наиболее многоводный 1990 г. – до отметки 122,74 м. Кроме того, в 1966 г. минимальная отметка предполоводной сработки водохранилища была повыше-

на до 119,5 м, в период с 1970 по 1991 г. находилась не ниже отметки 121,0 м в связи с необходимостью обеспечения устойчивой работы системы водоснабжения Конаковской ГРЭС, а начиная с 1992 г. предполоводная отметка сработки 119,5 м была снова восстановлена (рис. 1 а) [3]. В целом средняя многолетняя величина сработки уровня оказалась на 0,5 м меньше проектной.

В Угличском водохранилище среднее многолетнее значение НПУ составило 113 м с обеспеченностью 74 %. Форсировка уровня отмечалась в 49 % случаев. Средний многолетний УНС был на 93 см выше проектного (109,93 м). Амплитуда колебаний НПУ не превышала 0,73 м, а УНС – 4,79 м. Повышение уровня воды от УНС до НПУ изменялось в пределах от 0,41 в 1990 г. до 5,33 м в 1952 г. и в среднем достигало 3,07 м, что на 1 м меньше проектной отметки (рис. 2 б).

Наиболее изменчив характер колебаний уровня в водохранилищах многолетнего регулирования стока. Так, в Рыбинском водохранилище за рассматриваемый период среднесуточный уровень наполнения составил 101,54 м (обеспеченность 80 %), тогда как НПУ 101,81 м имел обеспеченность 68 % (табл. 2). Амплитуда колебаний НПУ характеризовалась величиной 2,63 м (рис. 1 в). Средний многолетний УНС составил 98,44 м. Во время наполнения повышение уровня воды в среднем равнялось 3,1 м, минимальное – 1,31 м (2009 г.), максимальное – 5,27 м (1955 г.). Форсировка уровня наблюдалась в 40 % случаев.

В Горьковском водохранилище средний многолетний уровень наполнения превышал проектный НПУ на 8 см (84,08 м) с обеспеченностью 40 %. Межгодовая амплитуда колебаний НПУ составила 49 см. Незначительные многолетние колебания НПУ обусловлены навигационными требованиями, согласно которым уровень водохранилища к началу навигации не должен быть ниже 83,6 м (рис. 1 г). Среднее многолетнее значение УНС 82,51 м, что на 0,51 м выше проектной отметки. Величина подъема уровня воды изменялась в пределах 0,79–3,17 м со средним значением 1,57 м. Форсировка уровня отмечалась только в 33 % случаев.

Внутригодовые колебания уровня

В годовом цикле изменения уровня выделяются три характерных периода: фаза наполнения, медленной сработки в навигационный период или равновесия при НПУ в течение всей навигации и фаза интенсивной зимней сработки [1, 4]. Кривые внутригодового хода уровня в водохранилищах ограниченного сезонного регулирования стока

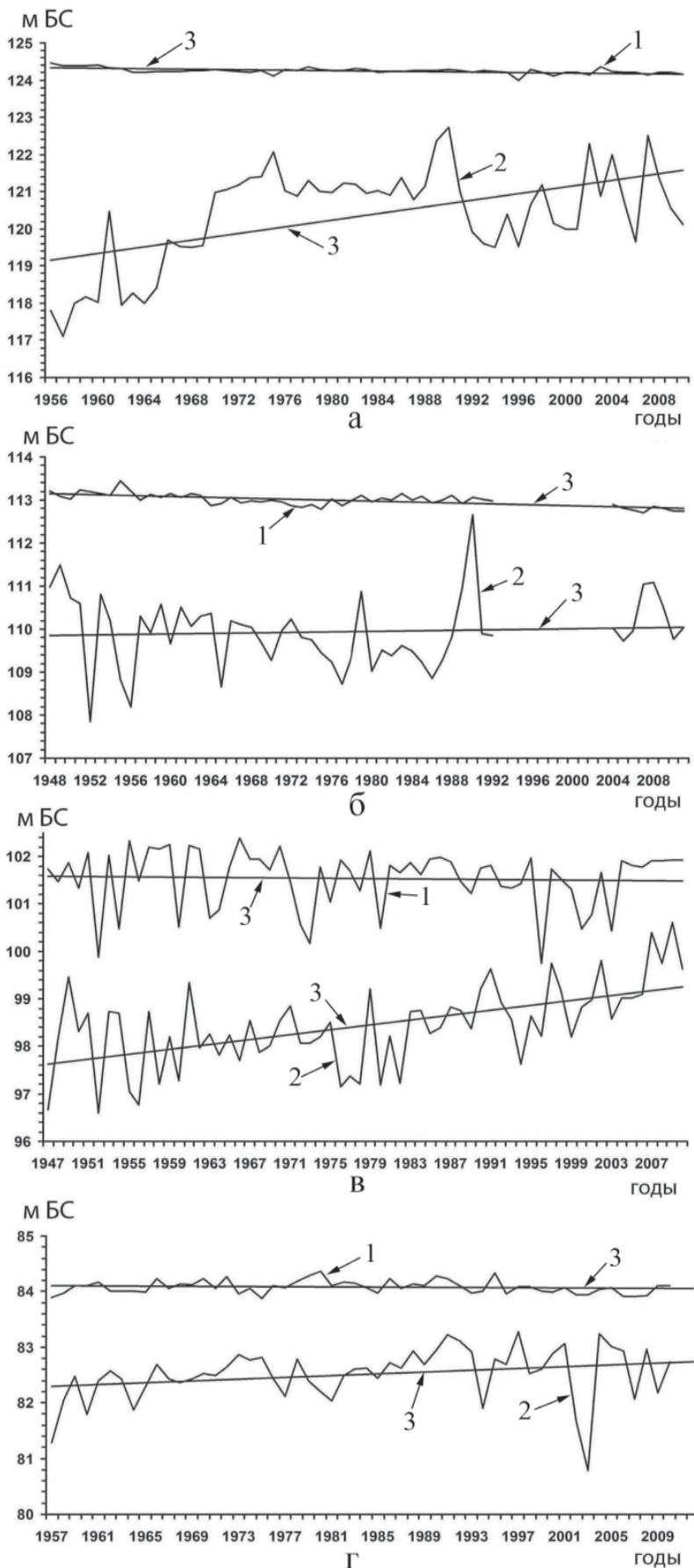
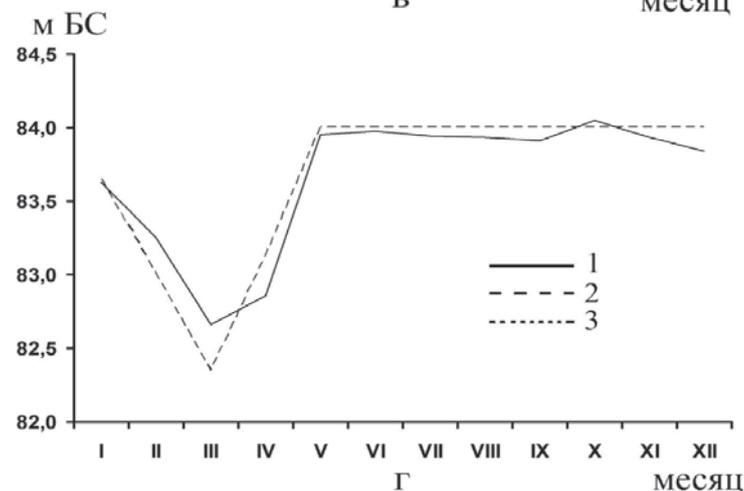
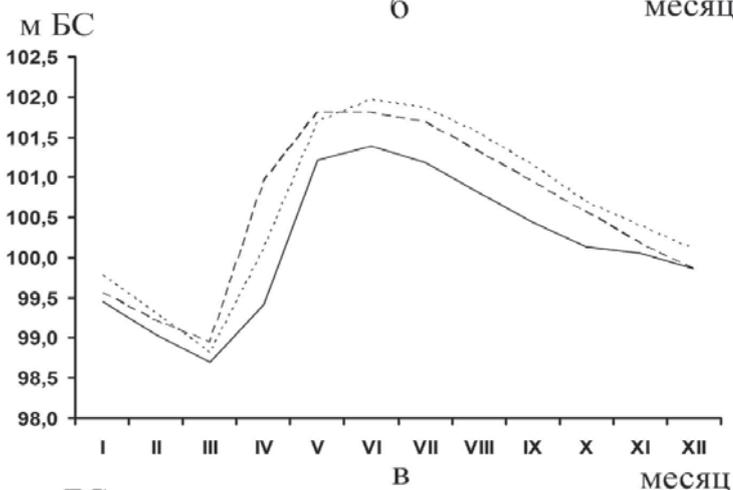
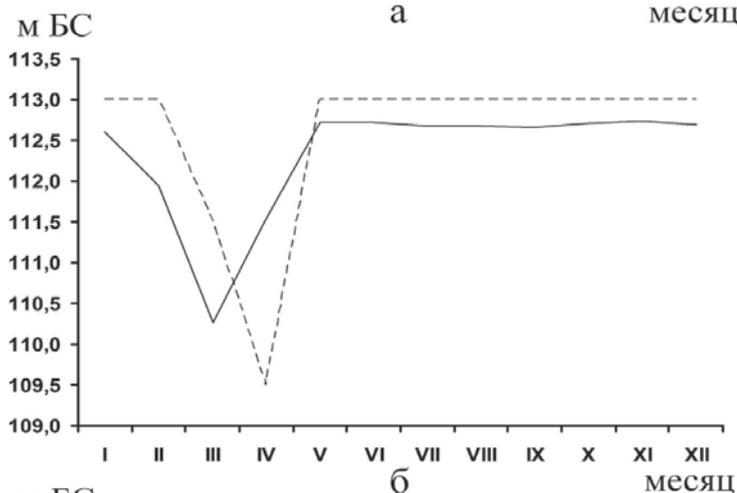
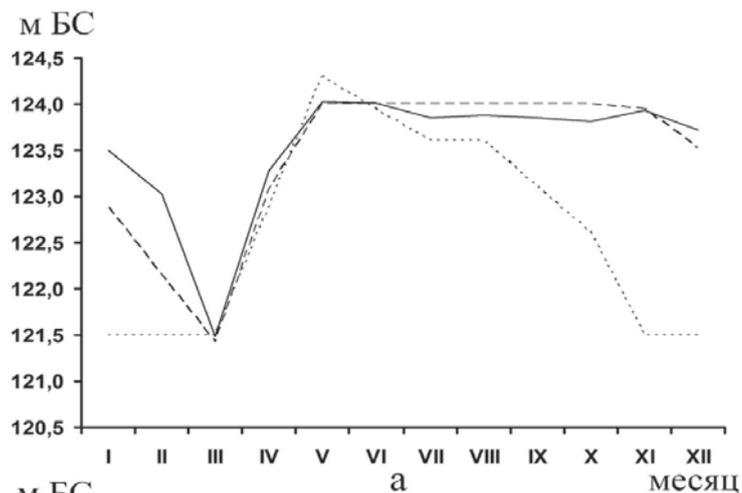


Рис. 1. Многолетние изменения уровня максимального наполнения (1) и уровня нормальной предполоводной сработки (2) в водохранилищах: а – Ивановском, б – Угличском, в – Рыбинском, г – Горьковском. 3 – линия тренда.



(Иваньковском, Угличском и Горьковском) практически идентичны и характеризуются равновесным состоянием уровня воды при НПУ с момента окончания весеннего наполнения вплоть до наступления ледостава (рис. 2 а, б, г). В Угличском водохранилище минимальный уровень предполоводной сработки приходится на март, тогда как согласно диспетчерскому графику сработка должна заканчиваться в апреле. Средний многолетний УНС на 77 см выше проектного (следует отметить, что в результате среднемесячного сглаживания значения уровня воды несколько завышены по сравнению с проектными). В Горьковском водохранилище окончание сработки приходится на март и средний многолетний УНС выше проектного на 31 см.

В Рыбинском водохранилище кривая внутригодового хода уровня качественно повторяет диспетчерский график (рис. 2 в). Наибольшие расхождения в значениях уровня отмечаются в апреле (на 1,16 м) и в период с мая по октябрь (в среднем на 47 см).

Возможности уточнения площадей водохранилищ

Колебания уровня водохранилищ могут приводить к значительным изменениям их площади и объема. Наиболее чувствительна к изменениям уровня воды площадь поверхности Иваньковского водохранилища. Из-за наличия обширных мелководных пространств повышение уровня относительно НПУ на 25 см приводит к увеличению площади поверхности водоема на 35 км². В связи с этим, принимая за основу проектный НПУ, можно недооценить площадь водохранилища на 10,7 % (табл. 3). С другой стороны, заболачивание мелководий и образование сплавин приводит к потере части акватории и переходу ее в берег. Согласно исследованиям [5] потери площади поверхности Перетрусовского залива водохранилища за 30 лет (с 1960 по 1990 гг.) составили ~12 га в год. Вместе с тем, отсутствие данных по скоростям отчуждения к берегу других участков акватории водоема не позволяет на данный момент адекватно оценить реальное уменьшение площади поверхности всего водохранилища за счет сплавинообразования.

← Рис. 2. Сезонный ход уровня в Иваньковском (а), Угличском (б), Рыбинском (в) и Горьковском (г) водохранилищах. 1 – за многолетний период, 2 – диспетчерский график режима работы водохранилищ, 3 – оптимальный для рыбохозяйственных целей.

Таблица 3

Площади поверхности верхневолжских водохранилищ при различных уровнях воды

Параметр	Водохранилище			
	Иваньковское	Угличское	Рыбинское	Горьковское
$S_1, \text{км}^2$	327	249	4550	1591
$S_2, \text{км}^2$	362	249	4320	1609
$\Delta S, \text{км}^2$	35	0	230	18
$S_1, \%$	10,7	0	5	1,1

Примечание: S_1 и S_2 – площади поверхности при проектном НПУ и среднемноголетнем уровне максимального наполнения, соответственно; ΔS – разница площадей поверхности при проектном НПУ и уровне максимального наполнения.

В Угличском водохранилище НПУ и средний многолетний уровень максимального наполнения не отличаются друг от друга. Площадь поверхности водоема остается неизменной. В Горьковском водохранилище расхождение между указанными выше уровнями воды составляет 8 см и, соответственно, различие по площади между ними достигает 18 км². Рыбинское водохранилище отличается большим расхождением между НПУ и средним многолетним максимальным уровнем наполнения (27 см). При этом разница в площади поверхности, соответствующей указанным уровням воды, составляет 230 км² (табл. 3).

Оценку возможности корректировки величин площадей поверхности водохранилищ проведем на основе сравнения расхождений площадей (в %) при различных уровнях воды с относительными погрешностями определения площадей объектов на топогра-

фических картах. Согласно [6] погрешности измерения зависят от способа измерения и размера измеряемой площади и могут изменяться от 0,15 до 5 %. Примем в качестве основного критерия для сравнения предельную относительную погрешность в 5 %. В результате сравнения значения с относительными погрешностями выявлено, что только для Иваньковского водохранилища превышает величину 5 %. (табл. 3).

Таким образом, корректировка площади поверхности может быть предложена применительно к Иваньковскому водохранилищу, где она может превысить площадь поверхности водоема при проектном НПУ на 35 км².

Экологическое значение уровневого режима

Существующий режим использования водных ресурсов верхневолжских водохранилищ и, в первую очередь, уровеньный режим во многих случаях неблагоприятен для воспроизводства и сохранения рыбных запасов этих водоемов [2, 7]. Рыбохозяйственные требования к уровневому режиму водохранилищ достаточно жесткие и для Иваньковского водохранилища заключаются в следующем. К концу апреля–началу мая уровень водохранилища необходимо форсировать до отметки 124,2–124,3 м. В этом случае обеспечиваются лучшие условия нереста и выклева молоди основных видов рыб, обводнение заливных лугов и улучшение условий судоходства.

Во второй половине июня должна осуществляться равномерная сработка водохранилища на 0,5–0,8 м до отметки 123,7–123,5 м. При этом происходит частичное осушение





заболоченных мелководий, практически безгибельный переход молоди рыб на основные нагульные биотопы средней и нижней литорали, осушение и зарастание удобренных пойменных лугов и пастбищ.

Осенью (сентябрь–октябрь), до наступления резкого осеннего снижения температуры воды, необходимо проводить повторное понижение уровня водохранилища на 1,3–1,5 м до отметки $122 \pm 0,5$ м. Этим достигается осушение зоны, в которой закончилась вегетация мягкой водной растительности, а также выход молоди из возможных водоемов-ловушек поймы на озерные и прирусловые места будущей зимовки.

Зимой сохранение уровня с момента ледостава до следующего весеннего паводка на отметках 122–121 м без резких повышений и понижений. Этим достигается относительная стабилизация зимнего гидродинамического режима водоема и окислительно-восстановительных процессов в воде, что способствует сохранению благоприятных условий зимовки гидробионтов (рис. 2 а).

В Рыбинском водохранилище снижение уровня воды приводит к стремительному уменьшению площади нерестилищ, которые практически полностью исчезают уже при уровне на 1,5 м ниже НПУ. Другой важной особенностью воздействия колебаний уровня на воспроизводство рыбных запасов является режим его сработки в летне–осенний период. Замедленное снижение уровня с августа по октябрь приводит к тому, что на значительной площади мелководий молодь остается в остаточных водоемах и погибает в подледный период. Общая гибель молоди и частично взрослой рыбы (плотва, щука, язь) в таких отсеченных от основного водоема углублениях мелководий Рыбинского водохранилища может достигать 6 % общей численности ихтиоценоза. При этом в большей степени страдает молодь щуки (65,3 %),

окуня (19 %), плотвы (9,6 %) и налима (1,4 %) [8].

Таким образом, важность решения проблемы рыбохозяйственного прогноза с привлечением параметров уровня режима очевидна – оптимальный уровеньный режим позволит более рационально использовать биопродукционный потенциал водохранилища. Использование уравнений множественной регрессии между параметрами уровня режима и урожайностью рыб Рыбинского водохранилища позволило выявить оптимальный сезонный ход уровня, обеспечивающий наибольшую выживаемость ее молоди. При сравнении кривых 1 и 3 на рис. 2 в видно, что их различие в вегетационный период (май–октябрь) достигает 60 см, т.е. в среднем многолетнем плане недоиспользуется от 240 до 360 км² мелководий – потенциальных местообитаний для воспроизводства и нагула рыб.

Заключение

Результаты исследований показали, что многолетние и сезонные колебания уровня воды в водохранилищах Верхней Волги в целом соответствуют современным требованиям эксплуатации их водных ресурсов. Более жестко эти требования соблюдаются в Ивановском и Горьковском водохранилищах, где первостепенное значение приобретает сохранение объема воды, необходимого для обеспечения гидроэнергетики, промышленного водоснабжения и судоходства.

Нормальный подпорный уровень Ивановского водохранилища при гидроэкологических исследованиях до уточнения площадей акватории отчуждаемых берегов в результате заболачивания и сплавинообразования может быть принят равным 124,25 м БС. В этом случае площадь водохранилища составит 362 км². Нормальный подпорный уровень и площадь поверхности Угличского, Рыбинского и Горьковского водохранилищ остаются без изменений.

Создание наиболее благоприятных условий жизнедеятельности гидробионтов посредством управления гидрологическим режимом водохранилищ является, на наш взгляд, наиболее важным направлением охраны и увеличения их биологических ресурсов. Наиболее реальное в настоящее время – управление гидрологическим режимом посредством регулирования сезонного хода уровня воды. В этом случае, варьируя параметрами уровня режима, можно добиться такого их соотношения, при котором,

например, величины урожайности отдельных ценных видов рыб могут быть выше по сравнению с их величинами при среднемноголетнем изменении уровня.

Литература

1. Литвинов А.С. Многолетние и сезонные колебания уровня Рыбинского водохранилища и их роль в функционировании его экосистемы / А.С. Литвинов, В.Ф. Рощупко // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 1. С. 33–40.
2. Авакян А.Б. Пути улучшения состояния экосистем зарегулированных рек / А.Б. Авакян, А.Г. Поддубный // География и природные ресурсы. 1995. № 4. С. 31*38.
3. Авакян А.Б. Опыт экологизации уровня режима водохранилищ (на примере Ивановского) / А.Б. Авакян, А.Е. Асарин // Пространственная структура и динамика распределения рыб во внутренних водоемах. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 1998. С. 71–83.

Ключевые слова:

уровень воды,
диспетчерский
график,
площадь
водохранилища,
экосистема,
рыбопродуктивность

4. Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.
5. Экологические проблемы Верхней Волги / Под. ред. А.И.Копылова Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2001. 427 с.
6. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом. Л: Гидрометеиздат, 1986. 92 с.
7. Авакян А.Б. Пути улучшения состояния экосистем водохранилищ и повышения их рыбопродуктивности / А.Б. Авакян, А.Г. Поддубный, С.А. Поддубный // Водные ресурсы. 1998. Т. 25. № 3. С. 261–273.
8. Герасимов Ю.В. Воздействие уровня режима на урожайность фитофильных рыб Рыбинского водохранилища / Ю.В. Герасимов, С.А. Поддубный // Водные ресурсы. 2000. Т. 27. № 5. С. 554–559.



S.A. Poddubnii

CURRENT STATE AND ENVIRONMENTAL IMPORTANCE OF WATER LEVEL OF VOLGA UPSTREAM RESERVOIRS

The interannual, seasonal, daily and diurnal water level fluctuations of Volga upstream reservoirs are analyzed. The obtained seasonal changes and dispatcher's graphs of reservoir regimes were compared. Opportunities of area adjustment are discussed and water level influence on fish capacity of reservoirs is estimated.

Key words: water level, dispatcher's graph, reservoir area, ecosystem, fish capacity