

Защищенные **МЕЛКОВОДЬЯ** ВЕРХНЕВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ и их ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Выделены типы защищенных мелководий в верхневолжских водохранилищах. Проведена классификация типов мелководий. Определены их морфометрические характеристики при нормальном подпорном уровне, а также в случае навигационной и предполоводной сработки уровня воды.

Введение

В настоящее время существует достаточно много классификационных схем мелководий (литорали) водохранилищ. Вместе с тем, все имеющиеся схемы объединяет отсутствие комплекса классификационных признаков и выделение типов мелководий по одному или нескольким показателям, имеющим, по мнению того или иного автора, первостепенное значение.

Наиболее полной, на наш взгляд, является классификация, предложенная в [1], в основу которой положены ведущие процессы образования мелководий — абразия и аккумуляция. В связи с этим выделяются два основных типа мелководий: абразионные и аккумулятивные, которые включают ряд видов — прибрежные и открытых водных пространств; защищенные и открытые; приглубые и отмелье; рыхлые с несвязанными грунтами и мягкие со связанными грунтами. Из основных видов литорали, определяющих абиотическую и биотическую структуру прибрежных экосистем, следует выделить прибрежные защищенные и прибрежные открытые мелководья.

Местообитания (биотопы) защищенных мелководий (прибрежно-зарослевые ихтиоценозы) характеризуются условиями, оптимальными для формирования высшей

С.А. Поддубный*,
доктор географических наук, директор, ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук

водной растительности и повышенной седиментации взвесей. На биотопах открытого побережья (пойменных ихтиоценозах) сохраняется повышенная гидродинамическая активность водной массы. На первых видовое разнообразие гидробионтов наибольшее, на вторых наблюдается минимальная ихтиомасса и устойчивость скоплений [2, 3].

В настоящее время нет классификации собственно защищенных мелководий. Отдельные авторы вводят понятия полузащищенных мелководий [4], закрытых мелководий (заостровных, межостровных, по заливам, лагунам) [5]. Вместе с тем, в водохранилищах Верхней Волги, как и в других водохранилищах, защищенные мелководья отличаются разнообразием морфометрии, морфологии и сложностью гидрологической структуры.

Морфометрические показатели позволяют, с одной стороны, достаточно точно определить место участка мелководья в общей системе классификации типов защищенных мелководий, а с другой, несут необходимую информацию для нахождения зависимостей между гидрологическим режимом участка и его гидрохимическими и биологическими особенностями [6].

Цель настоящей работы — выделение в верхневолжских водохранилищах типов защищенных мелководий для их классификации и определения морфометрических характеристик в зависимости от изменения уровня воды.

Материалы и методы исследования

В качестве основной информации для выделения типов защищенных мелководий и дальнейшей их характеристики послужили карты Генштаба, Атласы единой водной системы Европейской части РФ, космические снимки высокого разрешения

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



Рис. 1. Типы защищенных мелководий в верхневолжских водохранилищах. 1 – заливы, 2 – заостровные пространства, 3 – карманные, 4 – острова, 5 – русло р. Волги.

бассейна Рыбинского вдхр. [7, 8]. Типы защищенных мелководий выделялись визуально. Отбирались участки мелководий, защищенные от прямого воздействия ветровых и судовых волн, стоковых и ветровых течений. Рассматривались заливы водохранилищ, образованные затоплением овражно-балочной системы и долин малых рек и ручьев со сглаженным рельефом дна. Затопленные долины более крупных притоков с вероятной значительной русловой зоной не учитывались из-за отсутствия сведений по глубинам на навигационных картах. Исключен из анализа Шошинский плес Иваньковского вдхр. и Костромское расширение Горьковского вдхр., представляющие собой самостоятельные мелководные участки водоемов.

С помощью программы «SAS.Планета» [9] на картах Генштаба измерялись следующие морфометрические показатели: длина участка (L , м), площадь участка (S , км²), средняя ширина участка ($B = S/L$, м) и его объем ($V = SH$, м³) при проектном нормальном подпорном уровне (НПУ). Средняя глубина участка мелководья (H , м) определялась по навигационным картам и в большинстве случаев рассчитывалась как средняя величина между урезом воды и зна-

чением изобаты на внешней границе мелководья.

В качестве дополнительных показателей, позволяющих оценить степень воздействия гидрометеорологических факторов на поверхность и толщу воды защищенного мелководья, использовались: удлиненность акватории ($K_y = L/B$: форма близкая к округлой – $K_y = 1,5-3,0$, овальной – $K_y = 3-5$, овально-удлиненная $K_y = 5-7$, удлиненная – $K_y = 7-10$, вытянутая в виде борозды – $K_y > 10$), открытость акватории ($K_{от} = F/H$). Коэффициент открытости ($K_{от}$) позволяет судить о степени перемешивания водных масс и возможности возникновения термической стратификации водной толщи [10].

Сравнение площадей участков защищенных мелководий, вычисленных с помощью программы «SAS.Планета» и с применением общепринятых картографических методов [11] показало, что расхождения в расчетах не превышают 5% и согласуются с допустимыми относительными погрешностями определения площадей объектов на топографических картах.

Результаты и их обсуждение

В результате анализа указанной выше картографической основы среди защищенных мелководий могут быть выделены заливы, заостровные пространства, мелководья, отделенные от открытой литорали сплошными или прерывистыми косами – карманные. В результате отвала грунта в воду при разработке подводных месторождений нерудных строительных материалов и ряде других случаев в процессе проведения строительных работ на водоемах защищенные мелководья указанных выше типов могут иметь антропогенное происхождение. Как правило, защищенные мелководья представляют собой комплекс отдельных типов мелководий (моноструктур) и по своей структуре могут быть отнесены к полиструктурным (рис. 1).

Непосредственно перед характеристикой морфометрических показателей типов защищенных мелководий целесообразно кратко рассмотреть возможные механизмы их формирования, основанные на современных представлениях о структуре пойм речных долин. Согласно [12] основными формами рельефа поймы являются: прирусловые валы; старицы; гривы; эоловые дюны – образования из песчаных отложений валов

и отмелей; изолированные возвышенности — аккумулятивные осередки (впоследствии острова) и отчлененные от коренного склона долины или надпойменной террасы вследствие прорыва шейки врезанных меандров — останцы; в низовьях пойменных массивов — аккумулятивные косы, отделяющие от русла заводи.

Анализ разрозненных литературных источников первой половины XX века (до создания водохранилищ) показал, что долина р. Волги кроме русла и островов включала пойменную или нижнюю террасу и надпойменную террасу, которая практически не заливалась в период половодья. Верхняя кромка древней долины реки совпадала с верхней или третьей террасой, возвышающейся над меженным уровнем на 25–50 м [13]. От Твери до Рыбинска насчитывалось 13 островов и 2 заводи. От Рыбинска до Городца количество островов увеличилось до 41, а заводов — до 26. Ниже по течению от Калязина на излучинах реки практически повсеместно встречались песчаные острова [14].

После создания верхневолжских водохранилищ большая часть форм рельефа поймы Волги была затоплена и переработана гидродинамическим воздействием. В местах оврагов, балок и долин малых притоков, сопряженных с поймой Волги, образовались защищенные мелководья в виде заливов. Заостровные мелководья сформировались за прибрежными песчаными островами (Иваньковское и Угличское вдхр., Волжский плес Рыбинского вдхр.) и останцами, большая часть которых осталась после затопления речного участка Горьковского вдхр.. Ряд заостровных мелководий образовался в результате затопления приустьевых заболоченных территорий долин малых притоков

Ключевые слова: защищенные мелководья, уровень воды, морфометрия, экосистема

Волги. Защищенные мелководья карманного типа могли сформироваться в местах бывших заводов, в затопленных низинах за песчаными островами или после затопления русел небольших притоков, которые при достижении поймы в тыловой ее части изменяли свое направление вдоль стариц и заводов параллельно руслу.

На водохранилищах, осуществляющих сезонное, ограниченное сезонное, недельное и суточное регулирование стока (Горьковское, Угличское и Иваньковское) уровень воды поддерживается на отметке НПУ или близкого к нему с момента окончания наполнения (май) до начала предполоводной сработки (март) [15]. В связи с этим морфометрические характеристики выделенных типов защищенных мелководий в период открытой воды практически не меняются. В Рыбинском вдхр. — водоеме глубокого сезонного и многолетнего регулирования стока по мере сезонного снижения уровня морфометрия защищенных мелководий существенно изменяется, одни типы мелководий трансформируются в другие или полностью исчезают.

Всего при проектном НПУ проанализировано 284 защищенных мелководья общей площадью 215 км², из них 99 мелководных заливов (площадь 95 км²), 121 заостровных пространств площадью 87 км², 59 карманных (площадь 32 км²), 4 залива и 1 карманное антропогенного происхождения общей площадью 1 км². Защищенные мелководья первых трех типов в 80–90 % случаев имеют площадь до 1 км². Площадь каждого из выделенных антропогенных мелководий составляет менее 1 км². Обширных мелководных пространств с площадью более 9 км² крайне мало: заливов — 2, заостровных пространств — 1 и карманных мелководий — 1.

Горизонтальные размеры защищенных мелководий изменяются в широких пределах: минимальная длина варьирует в пределах 160–315 м, а максимальная — от 1200 до 7370 м. Средняя ширина изменяется от 20–185 до 490–2000 м. Средние глубины мелководий не превышают 3,5 м. Минимальный коэффициент удлиненности — 0,7, максимальный — 52,7. Коэффициент открытости достаточно велик и в большинстве случаев для всех типов защищенных мелководий более 100000. Величины же его по отдельным типам мелководий изменяются от 2150 до 4,99·10⁶ (табл. 1). Большие величины $K_{от}$ указывают на доступность мелководий к воздействию метеорологических факторов.

Таблица 1

Пределы изменений морфометрических характеристик защищенных мелководий верхневолжских водохранилищ при НПУ

Характеристика	Типы мелководий		
	заливы	заостровные	карманные
L, м	180–6550	250–7370	160–5670
B, м	30–2000	30–1585	20–1940
H, м	0,4–3,0	0,7–3,5	0,8–3,4
F, км ²	0,0099–12,83	0,014–10,4	0,0043–9,69
V10 ³ , м ³	14,9–28999	14–22880	6,8–19380
K _v	0,7–19,7	1,1–36	2,1–53
K _{от} ·10 ³	6–8553	9–4990	2–4845

Примечание: условные обозначения приведены в тексте.

Таблица 2

Классификация по K_y типов защищенных мелководий верхневолжских водохранилищ при НПУ

K_y	средние характеристики							
	N	P %	L, м	B, м	H, м	F, км ²	$V \cdot 10^3$ м ³	$K_{от} \cdot 10^3$
заливы								
1,5-3	35	31	916	500	1,3	0,770	793	592
3,0-5,0	32	32	1511	521	1,3	1,500	2380	1154
5,0-7,0	19	19	1362	227	1,3	0,447	560	344
7,0-10	13	13	1711	206	1,7	0,428	756	252
>10	4	4	1790	135	1,8	0,325	624	181
заостровные								
1,5-3	31	26	1399	602	1,6	1,170	1968	731
3,0-5,0	23	19	1200	303	1,5	0,470	720	313
5,0-7,0	27	22	1821	312	1,6	0,960	1888	600
7,0-10	23	19	1566	188	1,6	0,410	766	256
>10	17	14	1816	106	1,5	0,260	372	173
карманные								
1,5-3	5	7	1522	610	2	2,100	4200	1050
3,0-5,0	8	14	824	199	1,4	0,180	249	129
5,0-7,0	12	20	1552	260	1,8	0,710	1317	394
7,0-10	12	20	1252	151	1,8	0,232	423	129
>10	23	39	1923	130	1,6	0,414	678	259

Примечание: N — количество мелководий, P — повторяемость. Остальные обозначения приведены в тексте.

Дальнейшая классификация типов защищенных мелководий может проводиться по горизонтальным размерам, площади, коэффициентам открытости и удлиненности. В результате анализа исходных морфометрических данных нами для классификации мелководий был выбран коэффициентом открытости K_y . Выбор именно этого критерия обуславливался следующими обстоятельствами. Во-первых, K_y имеет определенные градации и соответствующие им описания формы акватории. Во-вторых, K_y легко может быть выражен или через длину и площадь ($K_y = L^2/S$), или через среднюю ширину и площадь ($K_y = S/B^2$). Таким образом, K_y непосредственно отражает морфометрические особенности мелководья. Коэффициент открытости может быть дополнительной характеристикой того или иного класса внутри типов защищенных мелководий.

Классификация типов защищенных мелководий по критерию K_y позволила выявить следующие их особенности. Форма мелководных заливов в 63% случаев близка к окружности или овалу. С увеличением K_y возрастает протяженность заливов с одно-

временным уменьшением их средней ширины. Площадь заливов по мере увеличения L постепенно сокращается. Коэффициенты открытости наибольшие для округлых и овальных заливов.

Заостровные пространства по форме от округлых до удлиненных распределяются практически равномерно. Меньшую встречаемость (14%) имеют только вытянутые в виде борозды акватории. Протяженность мелководных заостровных пространств изменяется незначительно (от 1,2 до 1,82 км). Средняя ширина с увеличением K_y постепенно уменьшается. Площадь заостровных пространств сокращается по мере их вытягивания в плане. Коэффициенты открытости остаются наибольшими для округлых и овально-удлиненных заостровных акваторий.

Защищенные мелководья карманного типа округлой формы имеют наименьшую повторяемость (7%), а наибольшую (39%) — узкие вытянутые пространства ($K_y > 10$). Мелководья овальной формы характеризуются минимальными горизонтальными размерами. Округлые акватории имеют, как правило, наибольшие горизонтальные размеры. Закономерности изменения $K_{от}$ аналогичны рассмотренным выше мелководным заостровным пространствам.

Все мелководья антропогенного происхождения имеют форму, близкую к округлой, и достаточную открытость акватории к метеорологическому воздействию (табл. 2).

Рассмотрим изменение морфометрических характеристик защищенных мелководий верхневолжских водохранилищ в зависимости от понижения уровня воды. Ранее было установлено [15], что минимальный уровень предполоводной сработки в рассматриваемых водохранилищах приходится на март, т.е. еще при наличии ледостава. В Ивановском и Угличском вдхр. среднее понижение уровня от проектного НПУ при сезонном осушении водоемов составляет 3,6 и 3,1 м, соответственно, а в Горьковском вдхр. — 1,5 м [16].

В Ивановском, Угличском и Горьковском вдхр. подледная предполоводная сработка уровня не позволяет визуально оценить степень обсыхания и изменение морфометрических характеристик мелководий водоемов. Поэтому для этих водохранилищ были проведены оценочные расчеты остаточных площадей мелководий при сработке уровня с применением зависимостей $S = f(Z)$ (Z — уровень воды) и допущении

Таблица 3

Площади и объемы защищенных мелководий верхневолжских водохранилищ при различном уровне воды

Водохранилище	НПУ		УНС			
	S, км ²	V10 ³ , м ³	S, км ²	в %	V10 ³ , м ³	в %
Иваньковское	47	30100	0,4	1	112	0,4
Угличское	17	31804	2,4	14	2585	8
Рыбинское	139	197772	7,5	5	9055	5
Горьковское	12	18324	2,3	19	2530	14

Примечание: УНС – уровень предполоводной сработки.

равенства $H_{\text{макс}} = 2H$ (где $H_{\text{макс}}$ – максимальная глубина на границе защищенного мелководья с глубоководной зоной).

В результате расчетов выявлено, что в Иваньковском вдхр. при сезонном осушении из 47 км² под водой остается только 0,4 км² защищенных мелководий. В Угличском вдхр. осушается 86% мелководий. В Горьковском вдхр. осушение происходит на площади 9,7 км², обводненными остаются 2,3 км² защищенных мелководий (табл. 3).

В Рыбинском вдхр. уровень воды к концу навигации в среднем многолетнем плане понижается на 1,5 м. Анализ космоснимков акватории водохранилища на конец октября 2010 г. при снижении уровня водоема на 1,9 м выявил следующие особенности в изменении морфометрии защищенных мелководий. Из 154 защищенных мелководий общей площадью 139 км² полностью обсыхают 82 мелководья на площади 32,5 км². Уменьшаются в размерах, сохраняя свою структуру, 55 мелководий с суммарной площадью 104 км². Трансформируются в новые типы (заливы, заостровные или карманные) 28 мелководий с общей площадью 5,7 км². Полностью изолированными от открытой части водоема остаются 9 участков (малых водоемов) с суммарной площадью 1 км².

В конце марта – начале апреля, когда средний многолетний уровень в период предполоводной сработки понижается относительно НПУ на 3,4 м, обводненные защищенные мелководья остаются только на площади 7,5 км², включая 1 км² изолированных ранее участков. Объем мелководий уменьшается на 95% (табл. 3). При весеннем подледном снижении уровня помимо дальнейшего обсыхания мелководий также происходит их трансформация с переходом из одних типов в другие. В фазу наполнения водохранилища после достижения НПУ за-

щищенные мелководья возвращаются к своему исходному состоянию.

Таким образом, за исключением короткого периода с максимальным уровнем воды защищенные мелководья Рыбинского вдхр. находятся в постоянной сезонной циклической пространственно-временной трансформации.

Заключение

Рассмотренные защищенные мелководья верхневолжских водохранилищ составляют крайне незначительную долю от их площади: в Горьковском вдхр. 1, в Рыбинском – 3, в Угличском – 7 и в Иваньковском – 14%. Тем не менее, эти объекты как своеобразные биофильтры твердого, химического и биогенного стока с суши, а также как основные места нереста фитофильных рыб и нагуливания их молоди имеют одно из главенствующих значений в функционировании экосистемы водохранилищ. Большая продолжительность ледового периода (ноябрь – апрель) и подледная предполоводная сработка уровня не позволяют в настоящее время адекватно оценить степень трансформации защищенных мелководий. Не выясненным остается вопрос о количестве и площади остаточных изолированных водоемов, где могут находиться обреченные на гибель скопления рыб. Следовательно, дальнейшее изучение воздействия процесса осушения мелководий на экосистему водохранилищ должно опираться на дополнительную информацию о микрорельефе дна участков защищенной литорали, гидродинамическом режиме мелководий и особенностях распределения в их пределах отдельных видов гидробионтов.

Литература

1. Буторин Н.В. Значение мелководий в биологической продуктивности водохранилищ / Н.В. Буторин, С.М. Успенский // Биологические ресурсы водохранилищ. М.: Наука, 1984. С. 23-41.
2. Герасимов Ю.В. Роль гидрологического режима в формировании скоплений рыб на мелководьях равнинных водохранилищ / Ю.В. Герасимов, С.А. Поддубный. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 1999. 172 с.
3. Поддубный С.А. Гидрологический режим местообитаний рыб в Рыбинском водохранилище // Известия РАН. Серия Географическая. 2006. №1. С. 121–128.

4. Мордухай-Болтовской Ф.Д. Исследования мелководной прибрежной зоны водохранилищ Верхней Волги // Гидробиологический режим прибрежных мелководий верхневолжских водохранилищ / Под ред. Н.В. Буторина. Ярославль: С. 3-12.
5. Матарзин Ю.М. Формирование мелководий камских водохранилищ /Ю.М. Матарзин, Н.Б. Сорокина // Вопросы формирования водохранилищ и их влияния на природу и хозяйство. Вып. 1. Пермь: Изд-во ПГУ, 1970. С. 46-63.
6. Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.
7. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ. Т. 2. СПб: ГБУ «Волго-Балт», 2005. 115 с.
8. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ. Т. 5. СПб: Росречфлот, 2004. 113 с.
9. SAS. Планета (SAS. Planet) 121010. <http://swdb.ru/sasplaneta/download/#.kF1RJbDbsN>.
10. Богословский Б.Б. Общая гидрология (гидрология суши) / Б.Б. Богословский, А.А. Самохин, К.Е. Иванов, Д.П. Соколов. Л: Гидрометеоиздат, 1984. 422 с.
11. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом. Л: Гидрометеоиздат, 1986. 92 с.
12. Рычагов Г.И. Общая геоморфология. М.: Изд-во МГУ. 2006. 416 с.
13. Поволжье. Природа, быт, хозяйство. Путеводитель по Волге, Оке, Вятке, Каме. Л.: 1925. 636 с.
14. Рагозин В. Волга. Атлас. Т. 1. От истока до Оки. СПб.: 1911. 9 с.
15. Поддубный С.А. Современное состояние и экологическое значение уровня воды в верхневолжских водохранилищах // Вода: химия и экология. 2012. №12. С. 9-15.
16. Поддубный С.А. Многолетние изменения площадей и объемов мелководной зоны верхневолжских водохранилищ в зависимости от колебаний уровня воды // Вода: химия и экология. 2013. №8. С. 3–7.

S.A. Poddubnyi

PROTECTED SHALLOWS OF THE UPPER VOLGA RESERVOIRS AND THEIR ECOLOGICAL IMPORTANCE

Types of protected shallows of the Upper Volga reservoirs were detected and classification of the types was carried out. Morphometric data for shallows with normal pond level and under navigational and before-flood level evacuation were estimated.

Key words: protected shallows, water level, morphometry, ecosystem

