

УДК 556.55:543.3(28)

Н. Г. Отюкова

**ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РУСЛОВЫХ ПРУДОВ  
(НА ПРИМЕРЕ МАЛОГО ПРИТОКА РЫБИНСКОГО  
ВОДОХРАНИЛИЩА)<sup>1</sup>**

Рассмотрена сезонная динамика гидрохимического режима двух русловых прудов, расположенных на малой реке Ильд — притоке второго порядка Рыбинского водохранилища — за период 2008—2010 гг. Концентрация гидрохимических компонентов в прудах имеет сезонный ход, изменение ее имеет схожую тенденцию как в поверхностном горизонте, так и в придонном. При этом пруд, расположенный в заболоченном верховье реки, на протяжении всего периода наблюдений отличался от пруда в среднем течении повышенным содержанием органических веществ, общего и растворенного железа, цветностью воды.

**Ключевые слова:** русловые пруды, поверхностный горизонт, придонный горизонт, гидрохимический режим, малая река.

Создание прудов на малых реках имеет большое научно-практическое значение. «Русловые пруды — это многоцелевые антропогенные водоемы, которые в зависимости от расположения на реке могут предназначаться для сельскохозяйственного и промышленного водоснабжения, оросительных, мельничных, противозерозионных, хозяйственно-бытовых, рыбоводческих, рекреационных, противопожарных, ландшафтно-декоративных целей» [11].

В конце 1980-х гг. в СССР насчитывалось около 150 тыс. прудов суммарной площадью > 500 тыс. га [6]. В конце 1990-х гг. в России наибольшее количество прудов было расположено в Центрально-Черноземном экономическом районе, Московской, Челябинской, Астраханской областях и Краснодарском крае [24]. В настоящее время, к примеру, в Самарской области насчитывается более 500 прудов на малых реках [5]. Расположение прудов на реках преимущественно каскадное, и их количество может достигать порядка 100 [16]. В формировании гидрохимического состава прудов, помимо стока воды собственно реки, принимает участие сток с прилегающей территории, осадки, грунтовые воды. Пруды, расположенные в населенных пунктах, эвтрофированы вследствие антропогенного воздействия на водосбор [3]. Гидрохимические процессы, протекающие в прудах, аналогичны тако-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках темы АААА-А18-118012690104-3 «Закономерности многолетних изменений гидрологических и гидрохимических условий в водоемах бассейна Верхней Волги».

© Н. Г. Отюкова, 2019

вым в неглубоких озерах [12]. Замедленный водообмен прудов способствует аккумулярованию взвешенных и донных наносов, приносимых малыми реками, увеличению концентрации автохтонных органических веществ (ОВ), вследствие чего происходит заиление, зарастание, обмеление прудов [5]. Это не может не сказываться на физико-химических показателях воды в прудах и состоянии нерестилищ. Для придонного горизонта прудов характерны анаэробные условия среды, большое количество двуокиси углерода и биогенных элементов [4]. В зависимости от расположения и объема, русловые пруды могут привести к изменению водного режима малой реки [14].

Малая река Ильд — приток второго порядка Рыбинского водохранилища. Длина реки 46 км., площадь водосбора — 240 км<sup>2</sup>, средний многолетний объем стока — 43 млн. м<sup>3</sup>. Лесистость водосборного бассейна — 36,6%, заболоченность — 8,5%, озерность — 0,01% [22]. Протекает в пределах зоны южной тайги на территории Ярославской обл., верховья реки сильно заболочены, почвы у истока — дерново-сильнопodzольные, в среднем и нижнем течении — дерново-среднеpodzольные [26]. По водному режиму р. Ильд относится к восточно-европейскому типу, ее воды относятся к гидрокарбонатному классу кальциево-магниевой группы [1] с соотношением между основными ионами  $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ . Весенние воды характеризуются высокой концентрацией органического вещества и цветностью при минимальной минерализации. В начале летней межени гидрохимические процессы, характерные для половодья, заканчиваются, минерализация воды повышается, с одновременным снижением концентрации ОВ и цветности [13]. Свой вклад в гидрохимический режим р. Ильд вносят антропогенный и зоогенный факторы. В верхнем течении река испытывает антропогенную нагрузку в виде рассеянных стоков свинофермы, обеспечивающих поступление дополнительного количества ОВ [26]. По всей длине реки насчитывается более 20 бобровых поселений и столько же плотин, занимающих в общей сложности 40% русла [22]. Поступающие в воду продукты жизнедеятельности бобров не вызывают загрязнения водоема, так как они хорошо утилизируются [8, 21]. Гидрохимические исследования на малых реках, заселенных бобрами, показали, что в условиях зоогенного воздействия, с формированием в воде специфических сообществ гидробионтов, наблюдается увеличение массовой доли автохтонного ОВ. В местах поселений бобров в воде отмечено снижение содержания растворенного  $\text{O}_2$  с одновременным повышением концентрации  $\text{CO}_2$ , активно идущие процессы минерализации ОВ [25].

На р. Ильд расположены два русловых пруда антропогенного происхождения — Некоузский (№ 1) и Мельничный (№ 2). Пруд № 1 расположен в верхнем течении реки. Характеристики пруда: площадь — 0,0697 км<sup>2</sup>, периметр — 1,483 км, длина — 420 м, ширина — 150—180 м, максимальная глубина — 3,5 м, средняя глубина — 1,2 м. Возраст пруда около 50 лет, используется в качестве противопожарного водоема. Подвержен антропогенной и зоогенной (деятельность бобров) нагрузке.

Пруд № 2 расположен в среднем течении реки. На топографической карте Ярославской губернии 1855—1857 гг. и в списках населенных пунктов 1859 г. [20] на месте расположения пруда указана мельница, поэтому его

предположительный возраст не менее 160 лет. Характеристики пруда: длина — 60—65 м, ширина — 40—45 м, площадь в период половодья — 2270 м<sup>2</sup>, в межень — 1450 м<sup>2</sup>, максимальная глубина — 7 м, средняя глубина — 3,7 м. По функционально-генетической классификации пруд относится к мельничным, русловым [11]. Малый объем пруда не оказывает существенного влияния на сток р. Ильд. Расчет относительной емкости пруда (отношение объема пруда к объему стока, %) показал, что объем задерживаемого им стока крайне мал и составляет в среднемноголетнем годовом плане 0,01% в многоводный год — 0,007% и в маловодный год — 0,04% [23]. Прореженный древесный ярус вдоль берегов пруда и погрызы деревьев свидетельствуют о деятельности бобров. В 2009 г. гидрологическими исследованиями в первой декаде июля отмечено образование вертикальной термической структуры с окончанием формирования в середине месяца. В начале формирования стратификации термоклин находился на глубине 4—5,5 м, постепенно поднимаясь на глубину 2—4 м [15].

Актуальность изучения гидрохимического режима прудов вызвана необходимостью разработки мероприятий для предотвращения деградационных процессов в водоемах. Исследование химического состава воды русловых прудов имеет научно — практическое значение. Полученные данные могут быть использованы при прогнозировании гидрохимического состава воды вновь образуемых искусственных водоемов.

**Материал и методика исследований.** Пробы воды отбирали с поверхностного (0,5 м от поверхности) и придонного (0,5 м. от дна) горизонтов прудов батометром Рутнера с периодичностью в среднем один раз за сезон. Анализы проб проводили в лаборатории гидрологии и гидрохимии ИБВВ РАН. Содержание  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  определяли методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель»,  $\text{HCO}_3^-$  — расчетным методом. Железо общее ( $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ) и растворенное ( $\text{Fe}_{\text{раст}}$ ) определяли фотометрическим методом с орто-фенантролином. Растворенное железо определяли в фильтрате, полученном фильтрованием пробы через мембранный фильтр Супрог (Чехия) с диаметром пор 0,45 мкм. Взвешенное железо определяли по разности между содержанием общего железа и растворенного. Химическое потребление кислорода (ХПК) — фотометрическим методом с применением анализатора жидкости «Флюорат-02». Содержание взвешенных веществ (ВВ) отделяли по разнице массы мембранного фильтра Супрог с диаметром пор 0,45 мкм до и после фильтрации воды. Перманганатную окисляемость (ПО), биохимическое потребление кислорода за пять суток (БПК<sub>5</sub>), содержание растворенного кислорода (О<sub>2</sub>), цветность (Цв) и рН воды определяли общепринятыми методами [18]. Двуокись углерода (СО<sub>2</sub>) рассчитана по концентрации  $\text{HCO}_3^-$  и значению рН. Концентрация растворенного углерода органических соединений (С<sub>орг</sub>) рассчитана по результатам определения ХПК по формуле  $\text{C}_{\text{орг}} = 0,375 \times \text{ХПК}$  [18]. Физиологическую калорийность (Q1) вычисляли по формуле  $Q1 = \text{ОК} \times \text{ХПК}$ , где ОК — оксикалорийный коэффициент = 3,4 [2].

### *Результаты исследований и их обсуждение*

Тип питания является определяющим условием в формировании гидрохимического режима исследуемых русловых прудов. В зимнюю межень,

когда идет существенная подпитка грунтовыми водами, минерализация воды максимальная и в абсолютных величинах может достигать более 670 мг/дм<sup>3</sup> как в поверхностном горизонте, так и у дна. В период половодья значения этого показателя минимальны, в абсолютных величинах это может быть 170—180 мг/дм<sup>3</sup>, а в летне-осеннюю межень минерализация воды увеличивается до абсолютных величин 400—600 мг/дм<sup>3</sup>. В составе преобладает гидрокарбонат-ион, относительное его содержание в межень достигает 49,1%-экв., в половодье снижается до 46%-экв. Причиной повышенного содержания этого компонента в меженный период служит грунтовое питание, для которого характерно преобладание в стоке гидрокарбонат-иона [17]. При этом в среднем минерализация в исследуемых прудах в придонном горизонте независимо от сезона выше, чем в поверхностном (таблица). Максимальное различие между значениями общей минерализации в поверхностном и придонном горизонте наблюдается в летнюю межень, и в отдельные даты отбора (например, 24.07.08 г.) может достигать до 219 мг/дм<sup>3</sup>. Минерализация атмосферных осадков с водосбора р. Ильд составляет порядка 20 мг/дм<sup>3</sup> и не влияет на накопление солей в пруду.

На водосборах лесной зоны большую роль в формировании склонового стока играет лесная подстилка — слой разлагающихся органических веществ хорошо проницаем для воды и образующиеся при фильтрации талых вод поверхностно-склоновые воды определяют химический состав воды. Поэтому весной в р. Ильд, а соответственно и в прудах, повышается концентрация растворенного ОВ (водного гумуса), за счет чего сохраняется высокая цветность воды [13] при минимальном содержании главных ионов (см. табл.).

Значения цветности воды в прудах снижаются от весны к лету и далее к осени благодаря смене водного питания (сокращается доля поверхностно-склонового стока), под воздействием ультрафиолета, осаждения взвешенных веществ вместе с ГВ. В осеннюю межень цветность в 10 раз ниже весенних показателей, содержание взвешенных веществ в придонном слое прудов может превышать таковое в поверхностном слое в 7 раз. [13]. По глубине от поверхностного горизонта к придонному снижение цветности воды в прудах (в среднем на 20 град.) отмечено лишь весной, в другие сезоны за счет высокой концентрации растворенного железа цветность воды у дна может увеличиваться в среднем на 40% по сравнению с поверхностью. Между цветностью воды — показателем содержания гумусовых веществ — и ПО отмечена тесная связь, что подтверждает высокий уровень корреляции ( $r = 0,86, p < 0,05$ ).

Пространственно-временная динамика содержания общего и растворенного железа, органических веществ в рассматриваемых прудах автором подробно описана ранее [13]. Железо в прудах находится преимущественно во взвешенной форме. В поверхностном горизонте массовая доля взвешенного железа от общего в летнюю, осеннюю, зимнюю межень может составлять до 95%, в половодье — от 4 до 47%, тогда как в придонном горизонте в течение всего года массовая доля взвешенного железа находится в пределах 65—99%. Весной, когда железогумусовые комплексы составляют значительную часть растворенного железа, в поверхностном горизонте прудов отме-

**Средние за исследованный период значения гидрохимических показателей воды прудов по горизонтам**

Показатели	Горизонты	Пруд № 1				Пруд № 2			
		зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
$\text{HCO}_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	I	617,5	206,3	275,8	327,7	444,8	202,0	327,0	392,4
	II	630,3	215,4	305,7	344,8	460,9	215,5	388,7	458,6
$\text{SO}_4^{2-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	I	7,6	4,1	4,0	3,7	8,5	4,9	5,2	7,2
	II	7,4	5,5	1,6	1,4	7,6	4,0	2,6	2,0
$\text{Cl}^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	I	15,6	5,8	15,9	15,8	10,8	3,7	5,8	7,6
	II	18,8	4,8	13,9	16,4	10,0	3,5	3,6	3,3
$\text{Ca}^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	I	126,3	45,0	52,2	62,6	88,2	43,5	63,8	71,6
	II	127,9	47,0	59,0	68,3	90,3	44,5	76,2	89,2
$\text{Mg}^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	I	42,5	13,1	20,5	24,1	32,6	13,9	22,7	30,0
	II	45,0	14,1	22,5	23,8	33,8	14,7	26,6	31,4
$\text{Na}^+$ , мг/дм <sup>3</sup>	I	18,3	4,9	15,7	16,5	9,3	5,4	11,4	14,7
	II	19,3	4,9	13,6	15,6	14,0	5,7	10,4	12,1
$\text{K}^+$ , мг/дм <sup>3</sup>	I	4,7	3,0	3,5	2,8	3,1	1,8	2,9	4,7
	II	3,6	2,5	2,5	3,4	3,1	1,9	3,1	4,0
M, мг/дм <sup>3</sup>	I	833	282	388	453	597	275	439	528
	II	852	294	419	474	620	290	511	601
$\text{O}_2$ , мг/дм <sup>3</sup>	I	4,0	7,0	4,1	3,7	11,3	8,7	5,2	6,4
	II	1,1	6,2	0,3	0,5	6,0	7,3	0,3	3,2
$\text{CO}_2$ , мг/дм <sup>3</sup>	I	150,0	20,4	8,5	12,4	55,4	10,0	6,2	10,7
	II	153,8	22,6	48,8	40,6	57,0	9,9	51,9	58,4
T, °C	I	0,1	11,0	18,3	9,6	0,1	10,7	17,2	9,1
	II	0,1	8,2	8,8	8,0	0,1	8,0	8,3	8,5
Цв, градусы	I	60	196	92	109	29	157	109	23
	II	91	196	89	112	27	161	127	25
ПО, мг О/дм <sup>3</sup>	I	13,3	23,4	16,0	18,1	9,7	18,2	15,2	4,1
	II	24,8	23,4	23,2	38,1	10,9	18,3	14,9	9,8
ХПК, мг О/дм <sup>3</sup>	I	40,7	52,8	55,7	47,4	18,3	36,8	36,1	18,0
	II	59,5	60,5	83,0	77,1	22,2	43,3	31,7	22,2
ПО/ХПК, %	I	33	44	29	38	53	49	41	23
	II	42	39	28	49	49	45	46	44
Цв/ПО	I	4,51	8,38	5,75	6,02	3,0	8,60	6,72	5,60

Продолжение табл.

Показатели	Горизонты	Пруд № 1				Пруд № 2			
		зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
$C_{орг}$ , мг/дм <sup>3</sup>	II	3,67	8,38	3,87	2,94	2,48	8,80	8,38	2,55
	I	15,26	19,80	20,89	17,78	6,86	13,80	16,24	6,75
Цв/ $C_{орг}$	II	22,31	22,69	31,13	28,91	8,33	13,54	11,89	8,33
	I	3,93	12,84	4,40	6,13	4,23	11,38	8,05	3,41
БПК <sub>5</sub> /ХПК	II	4,08	8,64	2,86	3,87	3,24	9,91	10,68	3,00
	I	0,13	0,04	0,06	0,10	0,08	0,05	0,06	0,11
рН	II	0,04	0,03	0,11	0,14	0,04	0,05	0,12	0,12
	I	7,00	7,30	7,74	7,72	7,30	7,60	7,95	7,86
Q1, Кал/л	II	7,00	7,28	7,10	7,24	7,30	7,66	7,18	7,19
	I	138	179	188	160	62	124	122	61
$Fe_{общ}$ , мг/дм <sup>3</sup>	II	201	205	285	261	75	146	107	75
	I	1,34	0,28	0,87	1,63	0,93	0,77	0,66	0,87
$Fe_{раст}$ , мг/дм <sup>3</sup>	II	11,26	1,24	9,43	23,61	1,19	1,32	12,7	22,96
	I	0,13	0,27	0,10	0,24	0,05	0,41	0,21	0,09
$Fe_{раст}/Fe_{взв}$	II	0,14	0,43	0,21	0,20	0,04	0,44	1,59	0,36
	I	0,11	27,0	0,13	0,17	0,06	1,14	0,47	0,12
ВВ, мг/дм <sup>3</sup>	II	0,01	0,53	0,02	0,01	0,03	0,5	0,14	0,02
	I	18,0	36,0	12,0	22,0	12,5	14,0	14,0	11,0
	II	57,0	95,0	57,0	126,0	15,8	20,0	51,0	86,0

Примечание. I — поверхностный; II — придонный; М — минерализация; Цв — цветность (Сг—Со шкала).

чен максимальный коэффициент отношения  $Fe_{раст}/Fe_{взв}$ , то есть в воде преобладает железо в растворенной форме. При этом растворенное железо положительно коррелирует с цветностью воды ( $r = 0,82$ ,  $p < 0,05$ ). Аналогичная зависимость описана для водохранилищ Днепровского каскада и рек бассейна р. Припяти [9].

В силу своего расположения, пруд № 1 отличается от пруда № 2 повышенными значениями ПО, ХПК,  $C_{орг}$ , цветности, содержания общего и растворенного железа [13].

Косвенными показателями гумусовой природы ОВ являются высокие коэффициенты отношения Цв/ПО, ПО/ХПК и Цв/ $C_{орг}$  (см. таблицу). Такие воды заполняют водосбор реки довольно длительное время после половодья, поскольку в верхних слоях почво-грунтов, формирующих почвенно-грунто-

вые воды, содержание карбонатов кальция и магния недостаточно для полной нейтрализации гумусовых кислот с образованием соответствующих солей. Почвенно-грунтовые воды носят промежуточный характер между поверхностно-склоновыми и грунтовыми, так как заканчивают формирование химического состава в слоях между почвой и водоносными породами, дренирующими грунтовые воды. К середине июня гидрохимические процессы, характерные для периода половодья, заканчиваются, и минерализация воды в реке повышается, с одновременным снижением концентрации ОВ [13]. Для грунтовых вод характерно меньшее содержание растворенных органических веществ по сравнению с поверхностно-склоновыми, так как концентрация ОВ с уменьшением их количества в почвенных растворах снижается от верхних горизонтов к нижним. Средние значения ПО и ХПК в пробах воды из родника составляют соответственно 7,3 и 25,4 мг О/дм<sup>3</sup>. Сульфаты, хлориды, калий для грунтовых вод не играют существенной роли в отношении их химического состава, их содержание в среднем соответственно 1,55, 3,61, 2,66 мг/дм<sup>3</sup>.

В настоящее время серьезные экологические исследования водоемов не обходятся без оценки энергетических запасов ОВ. Прежде всего, необходимость в калорийном выражении количества ОВ, содержащегося в кормовых ресурсах водоема, продиктована рыбохозяйственными запросами. Э. С. Бикбулатовым [2] была разработана оригинальная методология, различающая три вида калорийности (энергетического запаса) природных ОВ: физиологическую, физическую и полную. Из трех видов энергетического запаса имеющиеся данные позволяют вычислить физиологическую калорийность (Q1) — энергию, выделяющуюся на первой стадии бактериального разложения ОВ с образованием CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> [7, 19, 27]. Значения Q1 в пруду № 1 высокие в течение всего года, с летним максимумом у дна (см. таблицу), в то время как в пруду № 2 максимальные значения Q1 отмечены в весенне-летний период, также в придонном горизонте. Преобладающие в это время деструкционные процессы с выделением энергии на первой стадии бактериального разложения обуславливают высокий энергетический запас ОВ.

Содержание в прудах биохимически нестойких веществ, поступающих в водоем в результате жизнедеятельности фитопланктона, с отмершими организмами и промежуточными продуктами их разложения, определялось по БПК<sub>5</sub>. Максимальные значения БПК<sub>5</sub> были отмечены в летнюю межень при повышении температуры воды и интенсивном развитии фитопланктона и составляли в среднем в поверхностном горизонте до 3,3 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, в придонном — до 10,5 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. У дна процесс потребления кислорода идет более интенсивно вследствие создавшихся благоприятных для этого условий: на фоне низкой исходной концентрации растворенного кислорода замедление скорости течения прудов приводит к оседанию автохтонного ОВ, окисление которого обеспечивает высокие значения БПК<sub>5</sub>. В течение всего периода исследований нестойкие к биохимической деструкции ОВ количественно преобладали в пруду №1, очевидно, благодаря антропогенной нагрузке.

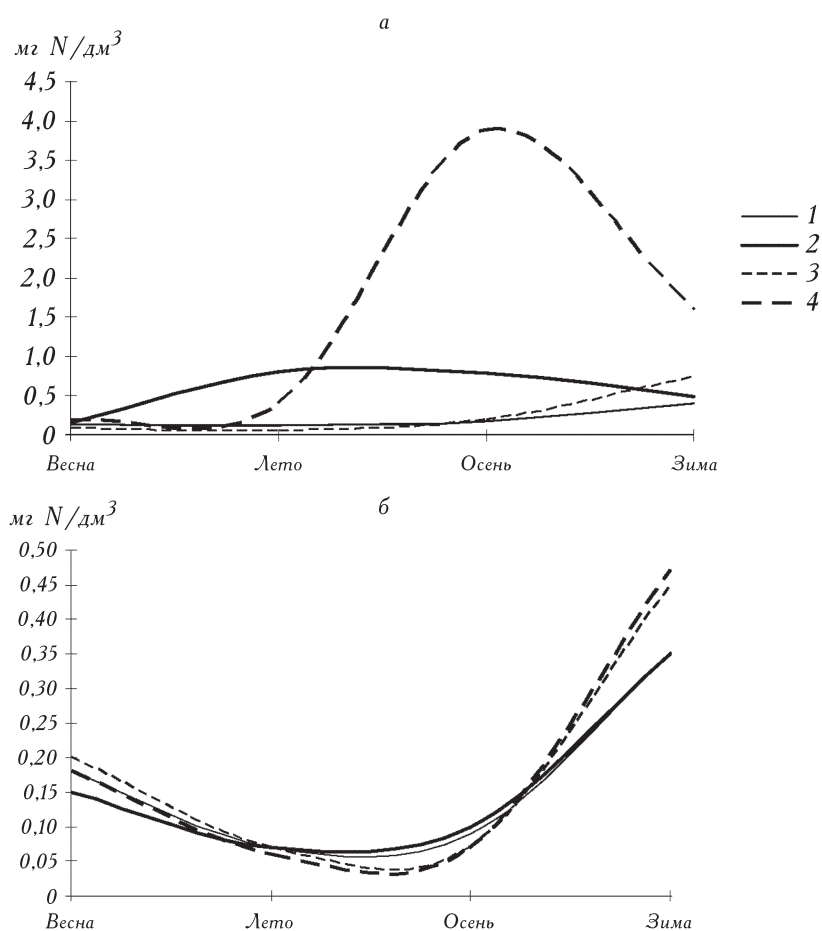
О содержании легкоокисляемых органических веществ (ЛОВ) дает понятие соотношение между количеством легко утилизируемой микроорганизамами и быстро вовлекаемый в биотический круговорот фракции общего ОВ и стабильной его части БПК<sub>5</sub>/ХПК. В прудах это соотношение составляет 0,03—0,14, максимальные значения присущи летне-осенней межени (см. табл.).

Режим растворенных газов формируется в результате протекания различных процессов: изменения температуры воды, интенсивности фотосинтеза, деструкции ОВ, питания водоема. В зимнюю межень питание прудов грунтовыми водами и продолжающиеся процессы окисления ОВ обеспечивают максимальную концентрацию СО<sub>2</sub> в прудах. С исчезновением ледяного покрова содержание СО<sub>2</sub>, выделяющегося в атмосферу, резко снижается (в 5—7 раз). В летнюю межень, с активным развитием водной растительности в поверхностном слое пруда в процессе фотосинтеза идет потребление большого количества СО<sub>2</sub>, создавая щелочную реакцию. Концентрация двуокиси углерода при этом снижается до минимальных значений, но к осени постепенно увеличивается. По глубине распределение СО<sub>2</sub> в зимний и весенний периоды равномерное. Резкая вертикальная стратификация наблюдается в летне-осеннюю межень, в период активного окисления ОВ. В придонном горизонте прудов растворенный кислород, поступающий с поверхности, потребляется в процессе деструкции ОВ с образованием двуокиси углерода. Для придонного слоя пруда характерно высокое содержание углекислоты, и если в поверхностных горизонтах летом концентрация СО<sub>2</sub> составляла в среднем менее 10 мг/дм<sup>3</sup>, то в придонных она достигала более 50 мг/дм<sup>3</sup>. В случае полного потребления растворенного кислорода на окисление, для образования СО<sub>2</sub> расходуется кислород сульфатных ионов за счет микробиальной активности, поэтому наблюдается снижение концентрации сульфатов в воде. В связи с этим в летнюю межень в придонном горизонте в прудах зарегистрированы минимальные значения концентрации сульфат-ионов и растворенного кислорода (см. табл.). В придонном слое воды прудов в летний период концентрация сульфатов может быть менее 1 мг/дм<sup>3</sup>, в относительных единицах — 0,3%-экв. Прямая стратификация воды по СО<sub>2</sub> обратна стратификации О<sub>2</sub> и зависит от глубины.

Зимой на исследованных прудах может нарушаться целостность ледяного покрова из-за активности бобров, которые проделывают во льду так называемые продушины, обеспечивая контакт воды с воздухом. В результате в зимнюю межень насыщение воды кислородом в среднем было 27—77% в поверхностном горизонте и 8—41% — в придонном. В зимний период насыщение кислородом поверхностных слоев отличается от придонных в среднем на 19—36%. После вскрытия реки в период половодья растворенный кислород распределяется по глубине равномерно, и разница между поверхностным и придонным горизонтами составляет в среднем 11—17% насыщения.

Продуцирование растворенного кислорода в процессе фотосинтеза в летний период в поверхностном слое воды недостаточно и не компенсирует его содержание до весеннего уровня. В абсолютных величинах растворенный кислород присутствует в средней концентрации, критичной для гидробионтов — 4,1—5,2 мг/дм<sup>3</sup>. В придонном слое летний кислородный минимум





Сезонная динамика в воде исследованных прудов аммонийного (а) и нитратного (б) азота (по средним значениям): пруд № 2: 1 — поверхностный горизонт, 2 — придонный; пруд № 1: 3 — поверхностный горизонт, 4 — придонный.

обусловлен слабой аэрацией и активной деструкцией ОВ (см. таблицу), Сезонный ход насыщения растворенным кислородом воды в прудах демонстрирует превышение деструкционных процессов над продукционными.

Пониженному содержанию растворенного  $O_2$  в течение всего периода наблюдений пруд № 1 обязан своему расположению в верховье реки, питающемся болотными водами, богатыми ОВ. Существенное потребление кислорода в процессе окисления ОВ приводит к снижению его концентрации. К тому же в водоемах с высокой цветностью воды процесс фотосинтеза замедлен из-за уменьшения прозрачности.

Вода исследованных прудов характеризуется слабощелочной реакцией. Минимальные величины рН воды в прудах отмечены зимой, максимальные — летом, в период развития фитопланктона и потребления углекислого газа при фотосинтезе (см. таблицу). По глубине отмечено снижение рН на 0,2—0,8 ед. При этом в пруду № 1, за счет постоянного поступления болот-

ных вод величина водородного показателя в течение всего периода наблюдений была ниже, чем в пруду № 2.

Содержание минерального азота в прудах имеет закономерный сезонный ход. Колебания концентрации аммонийного азота характеризуются минимумом весной (от аналитического нуля), в период интенсивной фотосинтетической деятельности фитопланктона, и повышением к осени (до абсолютного значения  $5,0 \text{ мг N/дм}^3$ ) при усилении процессов бактериального разложения органических веществ и вторичном поступлении из донных отложений при дефиците растворенного кислорода. К концу лета и осенью в придонном слое скапливается большое количество детрита. В осенне-зимний период повышенное содержание ионов аммония связано с продолжающейся минерализацией ОВ в условиях слабого потребления фитопланктоном. По горизонтам содержание аммонийного азота увеличивается от поверхностного слоя к придонному, достигая максимальных значений у дна (рисунок, а).

После зимнего максимума уровня азота нитратов, весной, с повышением температуры, активизируется жизнедеятельность водной растительности и, как следствие, потребление нитратов, вызывая снижение их концентрации. Ранее была выявлена зависимость содержания биогенных элементов от температуры воды [10]. Процессы денитрификации вызывают понижение концентрации нитратного азота вплоть до полного его исчезновения. С понижением температуры осенью содержание азота нитратов в прудах начинает увеличиваться и достигает максимума зимой, в период распада ОВ и перехода азота из органических форм в минеральные (рисунок, б). В распределении по глубине прослеживается уменьшение его концентрации в слоях скопления фитопланктона во время интенсивного процесса фотосинтеза. С глубиной концентрация азота нитратов в прудах повышается в среднем в 1,5 раза за счет регенерации в результате минерализации поступающего сверху отмершего планктона.

### *Заключение*

Русловые пруды, формируя свой гидрохимический состав в основном из элементов приходной части водного баланса собственно реки, имеют свои особенности. В результате снижения скорости течения воды в прудах замедляется их водообмен, что вызывает оседание взвешенных веществ вместе с органическими и минеральными частицами. Это способствует аккумулярованию взвешенных и донных наносов, приносимых водотоком, и увеличению концентрации ОВ. Таким образом, содержание  $C_{\text{орг}}$ ,  $Q_1$ ,  $Fe_{\text{взв}}$  и общая минерализация в придонном горизонте прудов выше, чем в поверхностном. Максимальное содержание ЛОВ отмечено в летне-осеннюю межень в придонном горизонте, о чем свидетельствует соотношение БПК<sub>5</sub>/ХПК до 0,14.

Поведение  $CO_2$  в воде подчинено продукционным и деструкционным процессам, его максимум отмечен в зимнюю межень, с равномерным распределением по глубине. Летом разница в концентрации между горизонтами была в 5 раз. Прямая стратификация воды по  $CO_2$  обратна стратификации  $O_2$  и

зависит от глубины. Процессы окисления в прудах не компенсируются фотосинтезом, поскольку средний уровень насыщения воды кислородом в теплое время года не достигает 100% даже при интенсивной аэрации.

Внутригодовая динамика неорганического азота в прудах имеет сезонный ход. Максимум и минимум его концентрации отмечены в характерные для естественных условий сезоны.

Пруд № 1, расположенный в заболоченном верховье реки и испытывающий антропогенную нагрузку, на протяжении всего периода наблюдений отличался от пруда в среднем течении большими концентрациями органических веществ, общего и растворенного железа и цветностью.

\*\*

*Розглянуто сезонну динаміку гідрохімічного режиму двох руслових ставків, розташованих на малій річці Ільд басейну Рибінського водосховища за період 2008—2010 рр. Концентрація гідрохімічних компонентів у ставках має сезонний хід, її зміна має подібну тенденцію як у поверхневому горизонті, так і у придонному. При цьому ставок, розташований у заболоченому верхів'ї річки, упродовж усього періоду спостережень відрізнявся від ставка у середній течії підвищеним вмістом органічних речовин, загального і розчиненого заліза, кольоровістю води.*

\*\*

*The seasonal dynamics of the hydrochemical regime of two riverbed ponds located on the small river Ild in the basin of the Rybinsk reservoir for the period 2008—2010 are considered. The concentration of hydrochemical components in ponds has a seasonal course, its change has a similar tendency both in the surface horizon and in the bottom. The pond, located in the marshy upper reaches of the river, throughout the entire observation period differed from the pond in the middle course with a higher content of organic matter, color, total and dissolved iron.*

\*\*

1. Алексин О. А. Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 444 с.
2. Бикбулатов Э. С. Биоэлементы и их трансформация в водных экосистемах. — Рыбинск: Рыбинский дом печати, 2009. — 290 с.
3. Гагарина О. В. Анализ временной динамики и пространственной изменчивости качества поверхностных вод Удмуртии: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Ижевск, 2007. — 22 с.
4. Горбунов М. Ю., Усманская М. В., Краснова Е. С. Характеристика абиотических условий в экосистеме нижнего пруда ботанического сада самарского университета // Бюл. Самарская Лука. — 2007. — Т. 16, № 1—2. — С. 134—43.
5. Казанцев И. В., Ярицкий А. С. Экологическая характеристика малых водохранилищ и прудов Самарской области // Таврич. науч. обозреватель. — 2016. — № 4. — С. 256—259.
6. Кирвель И. И., Лопух П. С., Широков В. М. Благоустройство малых водосборов искусственными водоемами. — Минск.: БелНИИНТИ, 1989. — 63 с.

7. Кузнецов С. И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. — Л.: Наука, 1970. — 440 с.
8. Лейда И. С., Рогозянская, Т. Д. Зоопланктон мест обитания бобров // Гидробиол. журн. — 1981. — Т. 17, № 2. — С. 16—21.
9. Линник П. Н., Жежеря В. А., Линник Р. П. Железо в природных поверхностных водах Украины: содержание, особенности миграции и биологическая роль // Там же. — 2018. — Т. 54, № 3. — С. 70—88.
10. Литвинов А. С., Степанова И. Э. Зависимость содержания органического вещества и биогенных элементов от гидрологических условий в Рыбинском водохранилище // Вод. хоз-во России. — 2015. — № 3. — С. 20—30.
11. Мишон В. М. Функционально-генетическая классификация прудов Центрального Черноземья // Вест. Воронеж. ун-та. Серия: География. Геоэкология. — 2003. — № 2. — С. 23—32.
12. Никаноров А. М. Гидрохимия. — Ростов-н/Д: НОК, 2008. — 461 с.
13. Отюкова Н. Г. Динамика содержания железа в речных аквальных комплексах (на примере реки Ильд бассейна Рыбинского водохранилища) // Тр. ИБВВ им. И. Д. Папанина РАН. — 2016. — Вып. 75 (78). — С. 75—81.
14. Погдубный С. А. Малая река как сложный аквально-территориальный комплекс // Вода: химия и экология. — 2014. — № 2. — С. 41—46.
15. Погдубный С. А., Поггорный К. А., Цветков А. И., Цветкова М. В. Особенности гидродинамического режима и термической структуры руслового пруда малой реки // Географ. вестник. — 2013. — № 2. — С. 46—54.
16. Позднякова Г. В. Характеристика и формирование химического состава воды каскадов прудов в бассейнах рек Кумы и Еи (Северный Кавказ): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Новочеркасск, 1978. — 25 с.
17. Рохмистров В. Л., Разгулин С. М. Гидрохимический режим малых рек Ярославского поволжья // Вопросы геоморфологии и гидрологии северной половины русской равнины. — Ярославль, 1974. — С. 64—73.
18. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А. Д. Семенова. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 542 с.
19. Скопинцев Б. А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус) // Тр. ГОИН. — 1950. — Вып. 17(29). — 290 с.
20. Список населенных мест: по сведениям 1859 Ярославская губерния / Центральный статистический комитет МВД. — СПб., 1865. — Вып. 50. — 381 с.
21. Ставровский Д. Д., Ставровская Л. А., Филиппов В. А. Влияние деятельности бобра на окружающую среду // Проблемы охраны генофонда и управления экосистемами в заповедниках лесной зоны: Тез. докл. всесоюз. совещ. Березин. заповедник, 23—25 сент. 1986 г. — Минск: Б. и., 1986. — Ч. 1. — С. 205—207.
22. Цветков А. И., Завьялов Н. А. Краткая характеристика бобрового поселения реки Ильд (Ярославская обл.) // Тр. гос. природного заповедника Рдейский. — Великий Новгород, 2009. — С. 202—218.
23. Цветкова М. В., Отюкова Н. Г. Гидролого-гидрохимическая характеристика руслового пруда на малой реке (р. Ильд, бассейн Рыбинского водохранилища, Яросл. обл.) // Современные фундаментальные проблемы

- гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России: Материалы науч.-практ. конф., Азов, 8—10 июня 2009 г. — Ростов-н/Д, 2009. — Ч. 1. — С. 236—239.
24. *Эгельштейн К. К.* Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. — М.: ГЕОС, 1998. 277 с.
25. Экосистема малой реки в изменяющихся условиях среды — М.: Т-во научных изданий КМК, 2007. — 372 с.
26. *Otyukova N. G.* Some aspects of the hydrochemical regime of a small river under the conditions of zoogenic disturbance // *Water Resources*. — 2009. — Vol. 36, N 5. — P. 604—609.
27. *Sverdrup H. U., Johnson M. W., Fleming R. H.* The oceans: their physics, chemistry and general biology. — Prentice-Hall, 1942. — 1087 p.

Институт биологии внутренних вод РАН,  
Борок, РФ

Поступила 27.08.19