

**ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ОСОБО  
ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРИТОКОВ  
ОЗЕРА ПЛЕЩЕЕВО (ЯРОСЛАВСКАЯ ОБЛ.) И РЕКИ ТАДЕНКИ  
ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА  
(МОСКОВСКАЯ ОБЛ.)<sup>1</sup>**

© 2021 г. Н. Г. Отюкова\*

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
пос. Борок, Ярославская обл., 152742 Россия*

*\*e-mail: ong70@mail.ru*

Поступила в редакцию 13.12.2019 г.

После доработки 02.11.2020 г.

Принята к публикации 09.11.2020 г.

Представлены результаты определения косвенных химических показателей содержания органического вещества в малых водотоках особо охраняемых природных территорий: 15 притоках оз. Плещеево на территории национального парка “Плещеево озеро” и р. Таденке Приокско-Террасного биосферного заповедника. В притоках оз. Плещеево отчетливо прослеживается сезонная динамика содержания органического вещества, зависимость его от характера питания водотоков. Неоднородность характера рельефа и геологического строения водосбора оз. Плещеево, а также антропогенное воздействие обуславливают различие химического состава растворенных веществ в притоках. В р. Таденке наряду с природными факторами формирования органического вещества отмечено поступление в воду лабильного органического вещества зоогенного происхождения. Аномальная жара и острый дефицит атмосферных осадков в вегетационный период 2010 г. отразились на гидрохимическом режиме реки.

*Ключевые слова:* аллохтонное органическое вещество, автохтонное органическое вещество, водоток, гумусность, физиологическая калорийность.

**DOI:** 10.31857/S0321059621030111

Один из основных факторов, обуславливающих качество воды в водных объектах, — содержание органического вещества (ОВ). Его количество определяет условия существования гидробионтов и, как следствие, общую биологическую продуктивность природных вод. Поступают ОВ в водные объекты с водосборной площади, из подземных источников и образуются в самом водоеме. ОВ, содержащиеся в водах, подразделяются на аллохтонные (поступают извне с речным стоком, атмосферными осадками, промышленными, хозяйственно-бытовыми, сельскохозяйственными сточными водами) и автохтонные (продукты биохимического распада остатков организмов, населяющих водоем).

ОВ в поверхностных водах представлено двумя фракциями: взвешенной и растворенной. Раство-

ренное ОВ играет основную роль в функционировании бактериальной петли в водных экосистемах [18], а взвешенное ОВ обеспечивает энергетические потребности планктонных и бентосных сообществ. По функциональной активности обе фракции делятся на лабильное и стойкое органическое вещество.

Формирование ОВ в речных водах зависит от физико-географических особенностей местности. Высокое содержание аллохтонного ОВ в реках характерно при низкой озерности и высокой заболоченности водосбора [7]. В речных водах ОВ присутствует главным образом в виде гуминовых соединений, благодаря которым цвет воды имеет бурю окраску. Перманганатная окисляемость (ПО) таких вод колеблется в широких пределах — от единиц до  $>50$  мгО/дм<sup>3</sup> [8]. Минимальная окисляемость характерна для зимнего периода, когда питание водотоков осуществляется за счет подземных вод, максимальная — весной с поступлением из болот и почв большого количества гу-

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

муса. Средняя величина ПО в реках Ярославского Поволжья находится в пределах 12–13 мгО/дм<sup>3</sup> [13].

Особенность малых рек — их тесная связь с окружающим ландшафтом. Все процессы, протекающие на малом водосборе, очень быстро сказываются на качестве воды, нарушение трофических связей в биоценозах малых водотоков немедленно приводит к изменению их гидрохимического режима. Формирование ОВ в малых реках зависит от гидрологического режима, поверхностного стока, точечных и рассеянных источников загрязнения, зарегулирования стока. Содержание ОВ в малых реках тесно связано с физико-географическими особенностями территорий бассейнов рек. Заболоченность и залесенность бассейна обуславливают повышенные значения ОВ. Так, малый приток Рыбинского водохранилища — р. Ильд в зависимости от сезона и участка реки характеризуется средними значениями ПО — в пределах 6.4–26.8 мгО/дм<sup>3</sup> [10], при этом отношение ПО/ХПК составляет 30–55% [11].

Количество и состав ОВ в озерах зависят от физико-географических условий водосбора, биологической продуктивности, морфометрии озерных вод, состава ОВ, вносимых притоками. Так, для северных озер характерно количество аллохтонного вещества, во много раз превышающее количество автохтонного, в то время как в озерах лесной и лесостепной зон преобладает автохтонное ОВ благодаря интенсивно протекающим процессам их создания и разрушения [8].

Уменьшение ОВ в водных объектах происходит за счет разбавления вод речным стоком, атмосферными осадками, поступления ОВ в донные отложения и минерализации его до конечных продуктов.

ОВ — важнейший компонент баланса веществ, который необходим для определения потока энергии в водоеме, а также для построения математических моделей с целью прогнозирования возможных изменений гидрохимического режима водного объекта в зависимости от изменения условий среды. Цель данной работы — оценка содержания ОВ малых рек гумидной зоны на примере водотоков особо охраняемых природных территорий в разных регионах.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Плещеево озеро входит в национальный парк «Плещеево озеро», расположено в южной части Ярославской области на восточной окраине Нерльской низины, представляющей собою флювиогляциальную равнину московского оледенения. Площадь озера ~51 км<sup>2</sup>, максимальная длина 9.5 км, ширина 6.5 км, глубина 25 м, объем

воды — 0.58 км<sup>3</sup>. Площадь водосборного бассейна, включая водоем, составляет 408 км<sup>2</sup>. Преобладающие типы почв — дерново-среднеподзолистые, тяжело- и среднесуглинистые. Берега низменные, заболоченные. Большая часть побережья занята лугами и кустарниками. Бассейн озера расположен в зоне достаточного увлажнения, в подзоне смешанных лесов. Климат региона умеренно-континентальный с холодной зимой и умеренно теплым летом. Норма годовых осадков, по данным метеостанции г. Переславль-Залесский, составляет 590 мм. [16]. Режим водного питания озера определяется как климатическими факторами, так и особенностями геологического строения водосбора. Основной приток озера — р. Трубеж — берет начало в Берендеевском болоте на водоразделе бассейнов Оки и Верхней Волги. Длина реки 32 км, ширина и глубина в устье 36 и 2–3 м соответственно. Река имеет несколько десятков мелких притоков. В устьевой области р. Трубеж расположен г. Переславль-Залесский, оказывающий существенное влияние на качество воды. Остальные притоки озера представляют собой мелкие речки и ручьи длиной < 10 км. Вытекает из озера одна река — Векса, впадающая в оз. Сомино. Длина реки 8 км, ширина у истока 21 м, наибольшая глубина ~1.5 м. Водное питание озера тесно связано с подземными водами, о чем свидетельствуют родники и самоизливающиеся скважины на его побережье. Так, ключ Гремяч в течение года имеет дебит ~1 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Основное количество воды поступает в озеро со стоком р. Трубеж и с осадками на зеркало. Расходная часть баланса на три четверти определяется стоком р. Вексы.

Работа по исследованию ОВ проводилась в вегетационный период 2017 г. и в начале половодья 2018 г. на 15 притоках оз. Плещеево (рис. 1). Пробы отбирались с поверхностного горизонта в одной точке устьевой области каждого притока один раз за сезон: весной — в середине мая, летом — в середине августа и осенью — в начале ноября. Начало половодья в 2018 г. пришлось на первые числа апреля.

Приокско-Террасный государственный природный биосферный заповедник (ПТЗ) расположен на левом берегу Оки в Московской области. Площадь заповедника 4945 га, 93% занято лесами. До создания заповедника его территория подвергалась интенсивному антропогенному воздействию. На территории выделено три основных типа ландшафта: нижние террасы, верхние террасы (центральная часть заповедника) и плакорная водораздельная территория на северной окраине заповедника. Ландшафт верхних террас характеризуется волнистым рельефом и овражной сетью. Значительные площади верхних террас заболочены. Гидрологическая сеть на территории заповед-

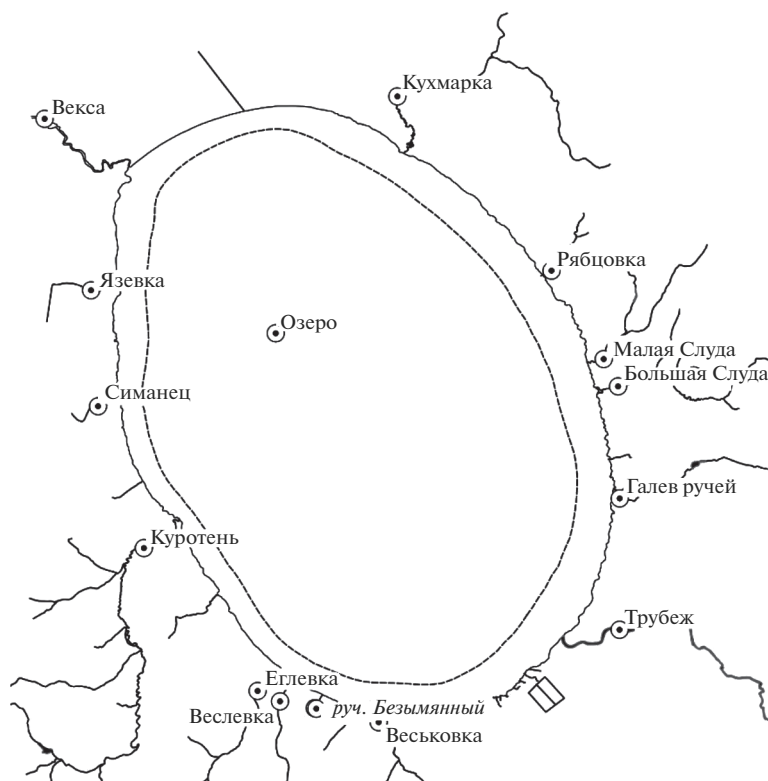


Рис. 1. Картограмма территории станций отбора проб на оз. Плещеево.

ника представлена речками, озерами и болотами. Главные водотоки представляют две лесные речки – Пониговка длиной ~6 км и Таденка – 8.7 км, большей частью протекающая по территории заповедника.

Исток р. Таденки находится выше северной границы заповедника в заболоченном массиве. Русло реки проходит по бурым оглееным супесчано-глинистым осадочным породам флювиогляциального генезиса. Подстилающие породы Таденки – верхние моренные оглеенные супеси, перекрывающие низзалегавшие монтмориллоновые коричневые и черные глины. Основной источник питания водотока – ключи, в большом количестве сосредоточенные на востоке территории ПТЗ. Таденка имеет немногочисленные овраги, русла которых прорезают водоупорные глины и элювий известняков карбона.

В ПТЗ на протяжении нескольких десятилетий проводится мониторинг популяции бобров. В 1948 и 1955 гг. на реках Таденке и Пониговке соответственно были выпущены две пары бобров, которые и положили начало популяции. На 2007–2009 гг. в бассейне р. Таденки было сосредоточено до 80% общего поголовья бобров заповедника [3]. В конце 2009 г. в русле Таденки насчитывалось 87 плотин, средняя длина которых составляла ~26 м, на притоке Таденки руч. Ниго-

вец – 22 плотины. Бобры значительно изменили долину реки. Так, если в 1950-х гг. средняя глубина русла была 15–20 см при средней ширине до 2 м, то к 1970-м гг. глубина составляла до 1 м при ширине 4 м.

Работа по исследованию ОВ на р. Таденке проводилась в апреле, июле и октябре 2009 г. и в октябре 2010 г. В апреле 2009 г. пробы воды отбирались в верхнем, среднем и нижнем течении реки. В остальное время сеть станций была более подробной и включала в себя точки отбора перед каскадом бобровых плотин и после них, а также в прудах, образованных бобровыми плотинами. Осенью 2009 и 2010 гг. также были отобраны пробы воды из притока Таденки – руч. Ниговец. Нумерация станций следующая: ст. 1 – незарегулированный участок, расположенный выше плотин каскада прудов верхнего течения реки, к осени этот участок мог значительно пересыхать; ст. 2 – среднее течение; 2а – среднее течение перед д. Родники; 2в – участок реки в среднем течении, расположенный выше плотин каскада этого участка напротив д. Родники, мог пересыхать к осени; 2с – пруд в среднем течении реки перед каскадом плотин; 2д – пруд, в 2009 г. функционировал, в 2010 г. весной спущен, в конце лета восстановлен; 2е – проточный участок реки, расположенный ниже плотин каскада прудов в среднем

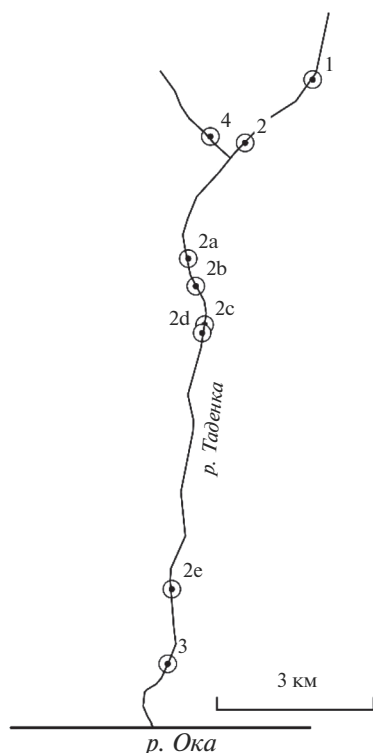


Рис. 2. Картограмма территории станций отбора проб на р. Таденке: 1–4 – станции.

течении водотока; 3 – нижнее течение; 4 – приток Таденки р. Ниговец, также заселенный бобрами (рис. 2).

Для оценки содержания ОВ в водных объектах определялись следующие показатели: химическое потребление кислорода (ХПК) (бихроматная окисляемость), перманганатная окисляемость (ПО), цветность (Цв), углерод органический  $C_{орг}$ , физиологическая калорийность  $Q_1$ , гумусность (Нум). Биохимическое потребление кислорода за 5 сут (БПК<sub>5</sub>) определялось в р. Таденке ПТЗ.

Пробы воды доставлялись в лабораторию гидрологии и гидрохимии ИБВВ РАН, где были проанализированы непосредственно автором статьи. ХПК определялось фотометрическим методом с применением анализатора жидкости “Флюорат-02”. ПО, БПК<sub>5</sub>, Цв определялись общепринятыми методами [14]. Концентрация растворенного  $C_{орг}$  рассчитана по концентрации ХПК по формуле:  $C_{орг} = 0.375 \times \text{ХПК}$  [14].  $Q_1$  определялась по формуле:  $Q_1 = \text{ОК} \times \text{ХПК}$ , где ОК = 3.4 – оксикалорийный коэффициент [1]. Для комплексной характеристики содержания ОВ в воде введен показатель Нум, который определялся как среднее геометрическое Цв и ПО [6]. Также для качественной оценки ОВ вод приведены соотношения между

косвенными его характеристиками: ПО/ХПК, Цв/ $C_{орг}$ , БПК<sub>5</sub>/ХПК.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Неоднородность рельефа и геологического строения территории водосбора оз. Плещеево обуславливает и различие химического состава растворенных веществ в притоках. Косвенные характеристики ОВ по ХПК в исследованных объектах варьируют в пределах 3.5–36.9 мгО/дм<sup>3</sup>, ПО – 0.5–90 мгО/дм<sup>3</sup>. Данные по Цв могут различаться в сотни раз, как, например, в р. Язевке и ключе Безымянном (табл. 1). Единственный, вытекающий из озера, приток р. Векса имеет схожие с озером гидрохимические характеристики. Водотоки с минимальными значениями характеристик ОВ – приток Еглевки, ключи Гремяч и Безымянный – питают преимущественно подземные источники.

Отношение ПО/ХПК в зависимости от сезона и характера питания водотока менялось от 2 до 86%, что свидетельствует о разной доле автохтонного и аллохтонного ОВ в воде. Больше всего аллохтонного ОВ (ПО/ХПК > 60%) зарегистрировано в реках Вексе, Язевке, Куротени, Еглевке, Веслевке, Большая Слуда, Малая Слуда, Рябцовке в летний период, Трубеж – весной, Язевке – в период половодья, Веслевке и в ключе Гремяч – в осеннюю межень. Между показателями Цв воды – показателем содержания гумусовых веществ и ПО, характеризующей наибольшую степень окисления аллохтонного ОВ, – отмечена тесная связь, подтвержденная высокой корреляцией ( $r = 0.93$ ,  $p < 0.05$ ) (рис. 3а), между ПО и ХПК в данном случае  $r = 0.88$ ,  $p < 0.05$  (рис. 3б).

Максимальные значения Нум, Цв, коэффициента Цв/ $C_{орг}$  отмечены в весенний период в водотоках: реках Куротени, Малая Слуда, ключах Гремяч, Безымянном, Вельковка, руч. Галев, а также в самом озере. К лету эти показатели снижаются (табл. 1). Для остальных притоков, протекающих по низменной, заболоченной местности, гидрохимические процессы, присущие периоду половодья, идут более продолжительное время, очевидно – в силу особенностей геологического строения их водосбора, поэтому в летнюю межень наблюдаются высокие значения Цв, Нум. К осени с переходом на преимущественно грунтовое питание и благодаря осаждению взвешенных веществ вместе с гумусовыми ОВ под воздействием ультрафиолета во всех водотоках наблюдается снижение показателей ОВ.

Из всех исследованных притоков по содержанию ОВ сильно выделяется р. Язевка. Антропогенное воздействие (торфоразработки, отвод вод) на бассейн реки привело к заболачиванию и сильному обмелению русла, местами – к его осуше-

Таблица 1. ОВ в воде притоков оз. Плещеево за исследованный период (прочерк – пробы воды не отбирались)

Приток	Сезон	Нум	$C_{орг}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Цв/ $C_{орг}$	Q1, кал/л	ПО, мгО/дм <sup>3</sup>	Цв, град.	ХПК, мгО/дм <sup>3</sup>	ПО/ХПК, %
Бекса	Половодье	9.2	7.4	3.2	66.2	3.5	24	19.6	18
	Весна	3.5	5.0	2.4	45.3	1.0	12	13.4	8
	Лето	25.3	13.5	2.1	122.7	22.9	28	36.0	64
	Осень	7.9	8.6	2.1	77.4	3.5	18	22.9	15
Язевка	Половодье	72.8	14.0	15.6	126.4	24.3	218	37.4	65
	Весна	117.0	33.6	11.0	303.0	37.0	370	89.6	41
	Лето	260.0	42.8	17.5	385.0	90.0	750	114.0	79
	Осень	54.5	19.9	11.0	180.0	13.6	218	53.1	26
Куротень	Половодье	23.0	6.6	9.4	60.0	8.5	62	17.7	48
	Весна	37.6	11.9	10.4	107.0	11.4	124	31.6	36
	Лето	33.8	11.0	5.4	99.0	19.4	59	29.2	66
	Осень	32.0	13.8	6.1	124.7	12.2	84	36.9	33
Еглевка	Половодье	9.9	4.4	6.4	39.6	3.5	28	11.7	30
	Весна	15.6	8.3	7.5	74.7	3.9	62	22.1	18
	Лето	20.0	9.0	3.1	81.1	14.3	28	24.0	60
	Осень	8.6	6.9	3.0	61.9	3.5	21	18.3	19
приток Еглевки	Половодье	4.3	3.8	2.4	33.8	2.1	9	10.0	21
	Весна					—			
	Лето	3.3	9.4	0.6	84.5	14.3	6	25.0	57
	Осень	1.9	4.3	1.4	38.9	0.6	6	11.5	5
Веслевка	Половодье	9.9	8.5	3.3	76.7	3.5	28	22.7	15
	Весна	1.9	4.2	2.9	37.5	0.3	12	11.1	3
	Лето	13.1	9.0	1.3	81.1	14.3	12	24.0	60
	Осень	11.8	5.3	2.8	48.0	9.3	15	14.2	65
ключ Гремяч	Половодье	5.0	3.8	3.2	33.8	2.1	12	10.0	21
	Весна	4.4	2.9	2.1	25.7	3.2	6	7.6	42
	Лето	4.6	5.6	0.5	50.7	7.1	3	15.0	47
	Осень	5.5	3.0	2.0	27.4	5.0	6	8.1	62
ключ Безымянный	Половодье	18.9	5.3	1.7	47.3	2.1	9	14.0	15
	Весна	0	1.3	0	11.8	0.3	0	3.5	9
	Лето	3.6	5.0	0.6	45.3	4.2	3	13.4	31
	Осень	2.9	4.2	1.4	37.5	1.4	6	11.1	13
Веськовка	Половодье	5.6	6.2	2.4	56.1	2.1	15	16.6	13
	Весна	12.5	6.8	5.9	61.2	3.9	40	18.1	22
	Лето	5.3	4.1	6.8	37.2	1.0	28	11.0	9
	Осень	7.5	6.2	3.2	55.4	2.8	20	16.4	17
Трубеш	Половодье					—			
	Весна	18.4	4.6	7.4	41.2	9.9	34	12.2	81
	Лето	5.1	3.3	4.6	83.8	0.6	43	24.8	2
	Осень	19.2	8.6	4.3	77.1	10.0	37	22.8	44
Галев ручей	Половодье	нет							
	Весна	46.5	13.8	9.4	124.0	16.6	130	36.8	45
	Лето	4.8	11.0	4.2	99.0	0.5	46	29.3	2
	Осень								

Пересох

Таблица 1. Окончание

Приток	Сезон	Нум	$C_{\text{орг}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Цв/ $C_{\text{орг}}$	$Q_1$ , кал/л	ПО, мгО/дм <sup>3</sup>	Цв, град.	ХПК, мгО/дм <sup>3</sup>	ПО/ХПК, %
Большая Слуда	Половодье	7.1	7.2	3.3	64.6	2.1	24	19.1	11
	Весна	14.1	8.1	4.6	73.0	5.4	37	21.6	25
	Лето	20.0	5.8	6.9	52.4	10.0	40	15.5	65
	Осень	9.2	7.1	3.4	64.2	3.5	24	19.0	18
Малая Слуда	Половодье					—			
	Весна	21.1	9.6	5.1	87.0	9.1	49	25.7	35
	Лето	19.2	3.8	11.3	33.8	8.6	43	10.0	86
	Осень	7.7	4.9	4.3	43.9	2.8	21	13.0	22
Рябцовка	Половодье	5.6	6.2	2.4	56.1	2.1	15	16.6	13
	Весна	3.9	3.3	2.7	29.7	1.7	9	8.8	19
	Лето	8.3	3.4	3.5	30.4	5.7	12	9.0	63
	Осень	2.7	3.8	3.2	33.8	0.6	12	10	6
Кухмарка	Половодье	20.8	5.2	11.9	46.6	7.0	62	13.8	51
	Весна	38.9	12.8	8.3	115.0	14.3	106	34.0	42
	Лето	52.7	12.5	11.4	113.0	19.4	143	33.3	58
	Осень	11.7	11.9	4.1	108.0	2.8	49	31.8	9
оз. Плещеево	Половодье					—			
	Весна	6.8	6.8	1.3	61.2	5.1	9	18.1	28
	Лето	5.0	3.8	1.6	33.8	4.2	6	10.0	42
	Осень					—			

нию, вода в бочагах стала застойная. Цвет воды изменился от желтоватого и бурого из-за выхода железистых вод до серого от торфянистой крошки. Здесь отмечены максимальные значения показателей ОВ в течение всего периода наблюдений: данные по Цв и ОВ во много раз превышают таковые по другим водотокам (табл. 1).

С целью оценки энергетических запасов исследованных водных объектов парка “Плещеево озеро” вычислена  $Q_1$ . Наибольшие значения  $Q_1$  присущи весенне-летнему периоду. Минимальные значения физиологической калорийности отмечены весной в ключах Безымянном и Гремяч (табл. 1), максимальные — в летнюю межень в р. Язевке.

Большое количество ключей, питающих оз. Плещеево, обеспечивает в нем минимальные значения Цв воды, которые снижаются от весны к лету благодаря смене водного питания (сокращается доля поверхностно-склонового стока). Также в этот период в озере отмечено снижение всех характеристик ОВ (табл. 1).

На р. Таденке за период исследования показатели косвенных характеристик ОВ в зависимости от сезона и станции варьировали в достаточно широких пределах: Цв — 20–91 град., ПО — 2.5–23 мгО/дм<sup>3</sup>, ХПК — 7.0–89.2 мгО/дм<sup>3</sup>,  $Q_1$  — 23.7–

302 кал/л (табл. 2). Минимальные значения характерны преимущественно для ст. 2с, а максимальные — для ст. 2в.

Наибольшие значения Нум, коэффициента ПО/ХПК на всех станциях присущи весеннему периоду 2009 г. (табл. 2). В летнюю межень, когда питание осуществляется преимущественно за счет грунтовых вод, для которых характерны трансформированные ОВ, содержание растворенного ОВ в воде снижается, что подтверждают низкие концентрации ПО. В этот период Нум составляет 9–23, за исключением ст. 2в, где Нум = 46. Очевидно, в пруду, образованном расположенной ниже плотинной, которая задерживает основную массу воды, трансформация весенних паводковых вод проходила более продолжительное время, чем на других участках реки. В итоге в середине лета 2009 г. на этой станции все еще наблюдались высокие значения всех показателей ОВ. Благодаря заболоченному истоку р. Таденки в верхнем течении реки на протяжении всего времени исследования в 2009 г. регистрировались повышенные значения Нум.

Максимальное содержание в воде биохимически нестойкого ОВ отмечено в период прогресса воды в июле 2009 г. на ст. 2а, 2в и в октябре 2009 г. в верхнем течении реки на ст. 1, 2а, а также в

руч. Ниговец (ст. 4). Соотношение между легко утилизируемой микроорганизмами фракцией общего ОВ и стабильной его частью БПК<sub>5</sub>/ХПК дает представление о лабильной фракции. В р. Таденке она составляет 2–16% общего содержания ОВ, здесь максимум отмечен в осеннюю межень 2009 г. на ст. 4 (табл. 2). Также по величине соотношения БПК<sub>5</sub>/ХПК можно судить о преобладании в воде стойких к окислению ОВ: при БПК<sub>5</sub>/ХПК < 1 в воде преобладает трудноразлагаемое ОВ. Расчеты показали, что в воде р. Таденки и ее притока руч. Ниговец во все сезоны исследования преобладало стойкое к окислению ОВ. При этом минимальные значения БПК<sub>5</sub>/ХПК (<0.03) относятся к весеннему периоду 2009 г., а максимальные (<0.23) характерны для руч. Ниговец осенью 2009 г. Активно проходящие деструкционные процессы с выделением энергии на первой стадии бактериального разложения обусловили высокий энергетический запас ОВ в летний период на ст. 2а и 2в. Здесь отмечены максимальные значения Q1 – 287 и 302 кал/л соответственно.

Летом 2010 г. в связи с пожароопасной обстановкой на территории заповедника были запрещены все работы, поэтому исследования не проводились. Отбор проб смогли осуществить лишь в октябре. После сильной летней засухи проточный участок верховья (ст. 1) практически пересох, а участки среднего течения реки оказались зарегулированными бобрами и полноводными. Питание водотока осуществлялось исключительно за счет грунтовых вод. В результате даже в заболоченном верховье реки значения всех показателей ОВ были гораздо ниже таковых в аналогичный период 2009 г. (табл. 2).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Формирование ОВ в оз. Плещеево происходит в основном под влиянием поверхностного стока, составляющего >60% водного баланса, а также биологической продуктивности водоема, ОВ, вносимых притоками. Озеро питает большое количество подземных источников, для которых характерно меньшее содержание растворенных ОВ по сравнению с поверхностно-склоновыми водами. Сезонные колебания содержания ОВ в устьевых областях притоков озера в комплексе с интенсивностью биохимических процессов превращения веществ сказываются на содержании ОВ в зоне смешения речных и озерных вод. Зимой ОВ, вносимые рекой, могут распространяться до 1.5 км от устья; в период открытой воды в результате ветрового перемешивания вод уже в прибрежном мелководье формируется водная масса с качественными характеристиками вод озера [16]. В летне-осенний период интенсификация микробиологических процессов способствует самоочи-

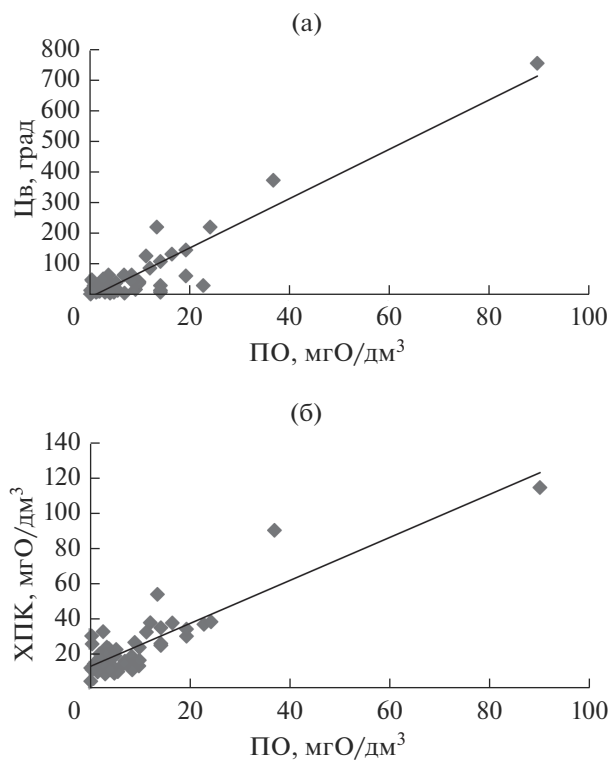


Рис. 3. Корреляционное поле зависимости Цв от ПО (а) и ХПК от ПО (б) в притоках оз. Плещеево.

щению рек, этим предотвращая поступление излишнего количества ОВ в озеро.

Большинство притоков оз. Плещеево берет свое начало в болотных массивах, что обуславливает высокие значения показателей ОВ в воде. В весенний период поверхностно-склоновые воды, обогащенные гуминовыми ОВ, играют определяющую роль в формировании химического состава речной воды. В это время речные воды отличаются относительно высоким содержанием растворенного ОВ (водного Hum), высокими значениями Цв, обусловленной наличием ОВ преимущественно растительного происхождения (гуминовые, фульвокислоты). Для ОВ природных вод характерна высокая вариабельность косвенных показателей. Для комплексных экологических исследований водоемов важна оценка энергетических запасов ОВ. Э.С. Бикбулатовым в [1] разработана оригинальная методология определения трех видов калорийности (энергетического запаса) природных ОВ: физиологическая, физическая и полная. Имеющиеся данные позволяют вычислить Q1 – энергию, выделяющуюся на первой стадии бактериального разложения ОВ с образованием CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>.

Особенность малых рек – смешение вод различного происхождения в очень короткие сроки межсезонья. Почвенно-грунтовые воды, сформир-



Таблица 2. ОВ в воде р. Таденки за исследованный период

Станция	Hum	C <sub>орг</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Цв/C <sub>орг</sub>	Q1, кал/л	ПО, мгО/дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> / ХПК, %	ХПК, мгО/дм <sup>3</sup>	Цв, град.	ПО/ХПК, %
24.04.2009									
1	33.5	14.3	4.6	129.1	17.0	2.1	38.2	66	45
2	30.0	9.5	6.2	85.2	15.2	3.2	25.2	59	60
3	24.0	12.0	4.6	107.8	10.4	1.9	31.9	55	33
17.07.2009									
1	22.4	10.4	5.4	93.3	9.0	4.0	27.6	56	33
2a	12.0	31.8	0.5	287.0	8.3	4.0	84.9	17	10
2в	46.0	33.5	2.7	302.0	23.0	4.2	89.2	91	26
2с	9.2	3.8	7.2	33.8	3.1	8.0	10.0	27	31
2d	12.3	7.5	5.3	67.6	3.8	7.5	20.0	40	19
2e	14.6	6.6	8.5	60.0	3.8	4.5	17.6	56	22
3	8.7	6.4	3.1	57.5	3.8	3.7	17.0	20	22
11.10.2009									
1	38.4	11.7	8.3	106.0	15.2	16.3	31.3	97	49
2a	23.4	12.0	3.8	108.0	12.2	14.4	31.9	45	38
2b	14.5	7.6	3.9	69.0	7.0	4.2	20.3	30	35
2с	7.7	2.6	9.1	23.7	2.5	11.9	7.0	24	36
2e	11.6	4.5	6.2	41.0	4.8	7.0	12.1	28	40
4	18.2	7.5	5.2	68.0	8.5	22.5	20.0	39	43
1.10.2010									
1	14.4	6.1	8.5	55.1	4.0	10.6	16.3	52	25
2a	15.3	7.2	4.8	65.0	6.9	8.6	19.1	34	36
2b	22.0	12.6	4.2	113.0	9.1	7.5	33.5	53	27
2с	12.0	5.8	7.4	32.4	3.3	9.0	15.5	43	21
2e	13.1	5.0	8.6	45.0	4.0	6.8	13.3	43	30
3	12.7	6.4	6.3	58.0	4.0	8.8	17.0	40	24
4	13.0	12.2	1.6	110.0	8.3	5.0	32.4	20	26

рованные в верхних слоях почвогрунтов, содержат недостаточное количество карбонатов кальция и магния для полной нейтрализации гумусовых кислот с образованием соответствующих солей. Поэтому даже после половодья окрашенные воды заполняют водосборы рек довольно продолжительный период времени. Почвенно-грунтовые воды имеют промежуточный характер между поверхностно-склоновыми и грунтовыми, они заканчивают формирование химического состава в слоях между почвой и водоносными породами, дренирующими грунтовые воды. К началу летней межени гидрохимические процессы, характерные для половодья, заканчиваются, происходит снижение концентрации ОВ в воде. Это наблюдается в притоках оз. Плещеево, долины которых лежат в моренных глинах и песках северных склонов Клинско-Дмитровской гряды

(ключи Гремяч и Безымянный, реки Куротень, Вельсковка, Малая Слуда, руч. Галев).

Грунтовые воды по сравнению с поверхностно-склоновыми имеют меньшее количество растворенных ОВ, их химический состав обусловлен трансформацией ОВ в процессе фильтрации воды в толще почвогрунтов. Поэтому к осени во всех исследованных притоках оз. Плещеево показатели ОВ снижаются.

Первые гидрохимические исследования на р. Таденке относятся к 1969–1970 гг. Выявлена новая закономерность формирования кислого и слабокислого геохимического ландшафта с сульфатно-кальциевым классом водной миграции [17]. Определение содержания ОВ в реке не проводилось.

Процессы на водосборах малых рек очень быстро отражаются на их гидрохимических ха-



рактических. Изменение гидрологического режима и любое загрязнение немедленно сказываются на формировании ОВ в реке. Источник поступления лабильного ОВ (ЛОВ) в р. Таденку, помимо продуктов жизнедеятельности гидробионтов, отмерших организмов и промежуточных продуктов их разложения, – зоогенный фактор. Установлено [5, 9, 15], что продукты жизнедеятельности бобров не загрязняют водоем, а поступающие ОВ находятся в хорошо усваиваемой для зоопланктона форме, создавая благоприятные условия для развития планктонных животных. Бобровые пруды служат местом развития несвойственных водотокам видов беспозвоночных, которые, перемещаясь вниз по течению, при благоприятных условиях могут играть определенную роль в формировании структуры и в функционировании сообществ гидробионтов [12].

Аномальная жара на Европейской части России в 2010 г., вызванная “блокирующим” антициклоном [22], повлекла за собой как значительный экономический ущерб, так и экологические проблемы – возросли темпы эвтрофирования пресноводных водоемов [21]. Установлено, что повышение температуры воздуха и воды приводит к трансформации внутриводоемных процессов и биотической структуры водных экосистем, а также способствует увеличению потребления кислорода, что повышает риск снижения его содержания в воде [19, 20]. Так, в Белгородской области аномальная жара в летний период 2010 г. значительно отразилась на уровне и расходе воды малых рек – они были ниже нормы. В этот период на реках наблюдалось бурное развитие водной растительности, что вызвало снижение скорости течения [4]. В устьевой области малой реки – притока Рыбинского водохранилища летом 2010 г. значения БПК<sub>5</sub> были более чем в два раза выше, чем по данным за такой же период 2009 г. [2]. Аномальная жара наряду с острым дефицитом атмосферных осадков в вегетационный период 2010 г. существенно отразилась на гидрохимическом режиме р. Таденки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В притоках оз. Плещеево и в р. Таденке отчетливо прослеживается сезонная динамика содержания ОВ, зависимость его от характера питания водотоков. Различие состава растворенных веществ в притоках оз. Плещеево обусловлено неоднородностью рельефа и геологического строения водосбора озера. В водотоках, протекающих по заболоченной местности, гидрохимические процессы, присущие периоду половодья, протекают более продолжительное время, что отражается на повышенных значениях показателей ОВ не только весной, но и в середине лета. Антропогенное воздействие в бассейне реки может значи-

тельно повлиять на ее гидрохимический режим, как в случае с р. Язевкой – после торфоразработки и отвода вод русло сильно обмелело, косвенные показатели ОВ получили запредельные значения.

В естественные процессы формирования ОВ в воде р. Таденки коррективы вносит зоогенный фактор. Так, в пруду, образованном расположенной ниже бобровой плотиной, задерживающей большую массу воды, трансформация весенних паводковых вод проходила более продолжительное время, чем на других участках реки. В результате на этой станции наблюдались высокие значения всех показателей ОВ как весной, так и летом 2009 г. Зоогенный фактор также влияет на поступление в реку ЛОВ, находящегося в хорошо усваиваемой для зоопланктона форме. В период исследования в воде р. Таденки и ее притока руч. Ниговец преобладало стойкое к окислению ОВ.

Полученные данные могут быть полезны при комплексном экологическом мониторинге малых рек, а также для дальнейшего изучения антропогенного и зоогенного воздействия на малые водосборы гумидной зоны в меняющихся условиях среды.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бикбулатов Э.С. Биоэлементы и их трансформация в водных экосистемах. Рыбинск: Рыбинский дом печ., 2009. 290 с.
2. Болотов С.Э., Романенко А.В., Цветков А.И., Отюкова Н.Г., Соколова Е.А., Крылов А.В. Бактерио- и зоопланктон устьевой области притока равнинного водохранилища в аномальный по климатическим условиям период // Биология внутрен. вод. 2014. № 1. С. 41–51.
3. Завьялов Н.А., Альбов С.А., Петросян В.Г., Хляп Л.А., Горайнова З.И. Инвазия средообразователя – речного бобра (*Castor Fiber L.*) в бассейне р. Таденки (Приокско-Террасный заповедник) // Рос. журн. биол. инвазий. 2010. № 3. С. 39–61.
4. Лебедева М.Г., Клубкова Г.В., Колмыков С.Н. Водный режим рек Белгородской области в условиях аномальной жары 2010 года // Науч. ведомости. Сер. Естественные науки. 2011. № 15 (110). Вып. 16. С. 186–192.
5. Легейда И.С., Рогозянская Т.Д. Зоопланктон мест обитания бобров // Гидробиол. журн. 1981. Т. 17. № 2. С. 16–21.
6. Лозовик П.А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию. Автореф. дис. ... докт. хим. наук. М.: ГЕОХИ РАН, 2006. 59 с.
7. Лозовик П.А., Морозов А.К., Зобков М.Б., Духовичева Т.А., Осипова Л.А. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Вод. ресурсы. 2007. Т. 34. № 2. С. 225–237.

8. *Никаноров А.М.* Гидрохимия. Ростов-на-Дону: НОК, 2008. 461 с.
9. *Отюкова Н.Г.* Гидрохимический режим в речных аквальных комплексах (на примере малой реки Ильд бассейна Рыбинского водохранилища) // Вод. ресурсы. 2019. Т. 46. № 4. С. 424–427. <https://doi.org/10.31857/S0321-0596464424-427>
10. *Отюкова Н.Г.* Динамика содержания железа в речных аквальных комплексах (на примере реки Ильд бассейна Рыбинского водохранилища) // Гидролого-гидрохимические исследования водоемов бассейна Волги. Тр. ИБВВ РАН. Ярославль: Филигрань, 2016. Вып. 75 (78). С. 75–81.
11. *Отюкова Н.Г.* Некоторые аспекты гидрохимического режима малой реки в условиях зоогенного нарушения // Вод. ресурсы. 2009. Т. 36. № 5. С. 633–638.
12. Речной бобр (*Castor Fiber L.*) как ключевой вид экосистемы малой реки (на примере Приокско-Террасного государственного биосферного природного заповедника) / Под ред. *Ю.Ю. Дгебуадзе, Н.А. Завьялова, В.Г. Петросян.* М.: Т-во науч. изд. КМК, 2012. 150 с.
13. *Рохмистров В.Л., Разулин С.М.* Гидрохимический режим малых рек Ярославского Поволжья // Вопросы геоморфологии и гидрологии северной половины русской равнины. Ярославль: ЯГПУ, 1974. С. 64–73.
14. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. *А.Д. Семенова.* Л.: Гидрометеиздат, 1977. 542 с.
15. Экосистема малой реки в изменяющихся условиях среды. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2007. 372 с.
16. Экосистема озера Плещеево. Л.: Наука, 1989. 264 с.
17. Экосистемы южного Подмосковья. М.: Наука, 1979. 264 с.
18. *Baines S.B., Pace M.L.* The Production of Dissolved Organic Matter by Phytoplankton and Its Importance to Bacteria: Patterns across Marine and Freshwater Systems // *Limnol. Oceanogr.* 1991. V. 36. № 6. P. 1078–1090. <https://doi.org/10.4319/lo.1991.36.6.1078>
19. *Blenckner T., Chen D.* Comparison of the impact of regional and North Atlantic atmospheric circulation on an aquatic ecosystem // *Climate Res.* 2003. V. 23. P. 131–136.
20. *Gerten D., Adrian R.* Climate-driven changes in spring plankton dynamics and the sensitivity of shallow polymictic lakes to the North Atlantic Oscillation // *Limnol. Oceanogr.* 2000. V. 45. № 5. P. 1058–1066.
21. The impact of climate change on european lakes // *Aquatic Ecology Series* / Ed. *G. George.* Berlin: Springer, 2010. V. 4. 507 p.
22. *Trenberth K., Fasullo J.* Climate extremes and climate change: The Russian heat wave and other climate extremes of 2010 // *J. Geophys. Res.* 2012. V. 117. P. D. 17103. <https://doi.org/10.1029/2012JD018020>