

## ВЛИЯНИЕ АНОМАЛЬНО ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ МАЛОЙ РЕКИ (НА ПРИМЕРЕ ПРИТОКА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

Н. Г. Отюкова

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, e-mail: ong70@mail.ru*

Поступила в редакцию 15.10.2021

Повышение температуры воды летом 2010 г. сказалось на изменении некоторых гидрохимических характеристик в воде устьевой области р. Ильд, притока Рыбинского водохранилища. Максимальная температура воды на изучаемой акватории зарегистрирована в мае и второй половине лета 2010 г. Отмечена высокая значимая корреляция между температурой и показателями органического вещества. В период максимального прогрева в 2010 г. общее количество органического вещества, его лабильной фракции и взвешенных веществ были существенно выше относительно периода, близкого к среднемноголетним. Большое количество атмосферных осадков в июне 2010 г. обусловило максимальные концентрации показателей ОБ, железа общего и растворенного. Органическое вещество представлено преимущественно свежесформированными соединениями, преобладает взвешенная форма железа над растворенной. Об органической природе железа в воде свидетельствует значимая корреляция между железом и показателями ОБ в оба исследованных года,  $r=0.89-1.0$ ,  $p < 0.05$ . При этом температурные аномалии не отразились на содержании растворенного кислорода и повышении минерализации воды.

*Ключевые слова:* аномальная жара, гидрохимический состав, устьевая область реки.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-46-59

### ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия тема изменения климата и его последствий достаточно актуальна. Летом 2010 г. на Европейской части России был зафиксирован абсолютный температурный максимум за период наблюдений с 1886 по 2010 гг., масса работ [Gruza, Ran'kova, 2011; Dole et al., 2011; Mokhov, 2011; Rahmstorf, Coumou, 2011] посвящена этой теме.

Причиной аномально высоких температур послужил устойчивый “блокирующий” антициклон [Ginzburg, 2011; Gruza, Ran'kova, 2011; Trenberth, Fasullo, 2012], “экстремальный” по своей интенсивности, продолжительности, а так же последствиям. Аномальные погодные условия летом 2010 г. вызвали ряд проблем в экономической и экологической сферах, привели к серьезным человеческим потерям [Mokhov, 2011]. Июль 2010 г. стал рекордно жарким в России за весь период наблюдений [Булыгина и др., 2010 (Bulygina et al., 2010)]. На большей части Европейской территории России более месяца удерживались ежедневные температуры воздуха свыше 30°C.

Установлено, что в условиях повышенных температур темпы эвтрофирования пресноводных водоемов, трансформации внутриводоемных процессов и биотической структуры водных экосистем значительно возросли [The impact..., 2010]. При повышении температуры воздуха и воды значительно увеличивается потребление кислорода, вызывающее снижение его концентрации в воде, смещению сроков вегетации видов [Blenckner, Chen, 2003;

Gerten, Adrian, 2000], изменению трофических взаимодействий, росту трофического статуса водоемов и, как следствие, увеличению уровня “цветения” воды синезелеными водорослями [Mooij et al., 2005, Paerl, Huisman, 2009].

В Рыбинском водохранилище последствия трансформации климата сказались на повышении температуры воды, минерализации, цветности воды и снижении прозрачности, ухудшении кислородного режима, изменении таксономической и размерной структуры фитопланктона [Корнева и др., 2019 (Korneva et al., 2019)]. На территории озерно-речной системы Байкала потепление климата способствовало увеличению испарения, усилению аридизации климата, уменьшению стока наносов р. Селенги и уровня подземных вод, деградации вечной мерзлоты [Потемкина и др., 2016 (Potyomkina et al., 2016)]. Высокая температура и плотностное расслоение водной массы мезотрофного озера Карелии в аномально жаркое лето 2010 г. обусловили развитие аноксии в придонных слоях [Efremova et al., 2015].

Малые реки в силу небольшого водосбора более уязвимы к воздействию различных факторов. На формирование стока малых рек в летнюю межень существенное влияние оказывают климатические условия, поэтому аномальная жара летом 2010 г. в большей степени отразилась на реках с небольшими водосборами. Так, в этот период уровни и расходы воды малых рек Белгородской области были ниже нормы, наблюдалось бурное развитие водной

растительности, приведшее к снижению скорости течения до минимальных значений [Лебедева и др., 2011 (Lebedeva et al., 2011)].

Вегетационный период 2010 г. по многим гидрологическим показателям характеризовался как аномальный за более чем столетний ряд наблюдений [Климатические..., 2010 (Klimatischeckie..., 2010)]. В этой связи имеет большое научное и практическое значение

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Малая река Ильд впадает в Рыбинское водохранилище на территории Ярославской области. Бассейн реки расположен в пределах зоны южной тайги. Длина реки 46 км, площадь водосбора 240 км<sup>2</sup>, средний многолетний объем стока составляет 43 млн. м<sup>3</sup>. Большую часть водосборной площади составляют сельскохозяйственные угодья на месте еловых и смешанных лесов. Преобладающий тип ландшафта – ополья. Почвы у истока – дерново-сильнопodzольные, в среднем и нижнем течении – дерново-среднеpodzольные. Исток реки сильно заболочен, водосбор вытянут с юго-запада на северо-восток [Otyukova, 2009]. По водному режиму р. Ильд относится к восточно-европейскому типу и принадлежит к гидрокарбонатному классу кальциево-магниевого группы рек со средней минерализацией. [Алекин, 1970 (Alyokin, 1970)]. В ионном составе преобладают HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>. Внутригодовая изменчивость химического состава воды имеет характер типичный для рек этой зоны. Ильд впадает в р. Сутка, образующую обширную устьевую зону. В результате комплексных гидрологических, гидробиологических и гидрохимических исследований по физико-химическим параметрам водных масс было произведено районирование устьевой области, включающее 5 зон: зону свободного течения притока, переходную притока, фронтальную, переходную приемника и глубоководный участок водохранилища [Krylov et al., 2010] (см. рисунок).

Отбор проб для анализа проводился батометром Рутнера с поверхностного горизонта зоны свободного течения р. Ильд, ее устьевой области (фронтальной и переходной зоны приемника) и Волжского плеса Рыбинского водохранилища с периодичностью 2 раза в месяц с мая по сентябрь 2009 и 2010 гг. По метеорологическим условиям 2009 г. не отличался от среднемноголетних, 2010 г. характеризовался как аномальный по продолжительной летней жаре, атмосферной и почвенной засухе за более чем столетний ряд наблюдений [Климатические..., 2010 (Klimatischeckie..., 2010)]. В устьевой области р. Ильд отчетливо просле-

изучение влияния изменения климатических условий на гидрохимический режим водных объектов. Цель работы – оценить основные изменения гидрохимических характеристик устьевой области (УО) притока Рыбинского водохранилища в период аномально жаркого лета 2010 года относительно периода, близкого к среднемноголетним.

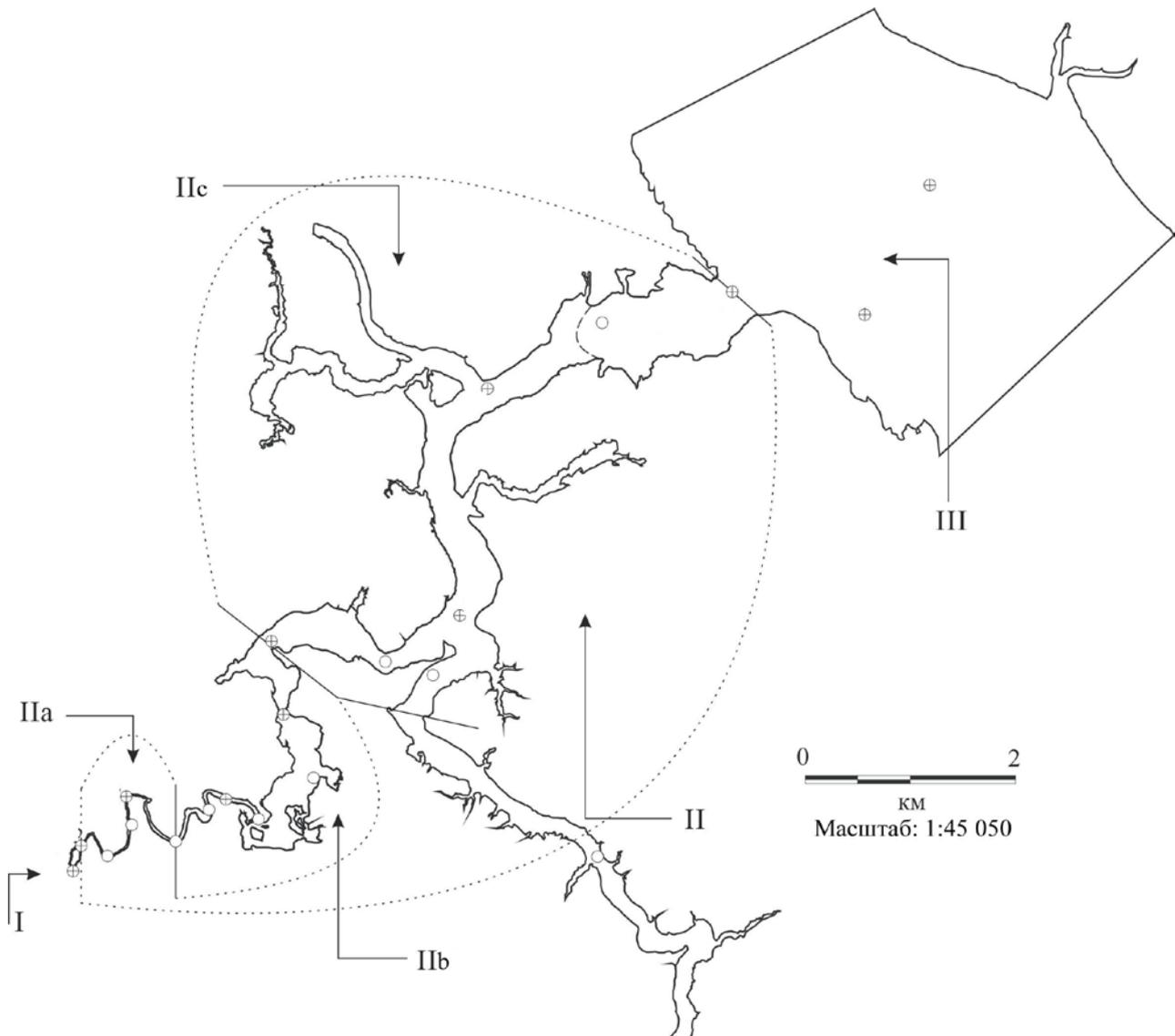
живается сезонная динамика содержания железа, количество легкоокисляющегося ОВ выше, чем на проточных участках реки и водохранилище. Здесь отлагается большая часть приносимых рекой наносов, задерживаются и накапливаются растворенные в воде вещества [Otyukova, 2016 (Otyukova, 2016)].

В пробах воды определялись следующие показатели: Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, растворенный кислород (O<sub>2</sub>), химическое потребление кислорода (ХПК), перманганатная окисляемость (ПО), цветность (Цв), углерод органический (C<sub>орг</sub>), физиологическая калорийность (Q1), гумусность (Hum), биохимическое потребление кислорода за 5 сут. (БПК<sub>5</sub>), железо общее (Fe<sub>общ</sub>), растворенное (Fe<sub>раст</sub>) и взвешенное (Fe<sub>взв</sub>), взвешенные вещества (ВВ), лабильная фракция органического вещества (ЛФ ОВ).

Содержание Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> определялось методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза “Капель”, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – расчетным методом, Fe<sub>общ</sub> и Fe<sub>раст</sub> – фотометрическим методом с ортофенантролином. Для определения Fe<sub>раст</sub> брался фильтрат, полученный фильтрованием пробы через мембранный фильтр Synrog с диаметром пор 0.45 мкм. По разности между содержанием общего железа и растворенного определялось Fe<sub>взв</sub>. ХПК определялось фотометрическим методом с применением анализатора жидкости “Флюорат-02”. Содержание ВВ отделяли по разнице массы мембранного фильтра Synrog с диаметром пор 0.45 мкм. до и после фильтрации воды. ПО, БПК<sub>5</sub>, O<sub>2</sub>, Цв определялись общепринятыми методами [Руководство..., 1977 (Rukovodstvo, 1977)]. Концентрация растворенного углерода органических соединений (C<sub>орг</sub>) рассчитана по концентрации ХПК по формуле: C<sub>орг</sub> = 0.375ХПК [Руководство..., 1977 (Rukovodstvo, 1977)]. Физиологическая калорийность (Q1) определялась по формуле: Q1 = ОК×ХПК, где ОК – оксикалорийный коэффициент = 3.4 [Бикбулатов, 2009 (Bikbulatov, 2009)]. Показатель Hum – есть среднее геометрическое Цв и ПО [Лозовик,

2006 (Lozovik, 2006)]. ЛФ ОВ представляет собой соотношение между количеством легко утилизируемой микроорганизмами и быстро вовлекаемый в биотический круговорот фракции общего ОВ и стабильной его части

БПК<sub>5</sub>/ХПК. Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью программы "Statistica 10.0" с определением средних величин и выполнением корреляционного анализа.



**Рисунок.** Схема исследованной акватории и районирование устьевой области р. Ильд. I – зона свободного течения притока; II – устьевая область: IIa – переходная зона притока; IIb – фронтальная зона; IIc – переходная зона приемника; III – водохранилище. Кружочками обозначены станции сбора проб для определения структурно-функциональных показателей бактерио- и зоопланктона.

**Figure.** Schematic map of the investigated water area and zoning of the mouth area of the river. Ild. I – zone of free flow of the inflow; II – mouth area: IIa – transition zone of the inflow; IIb – frontal zone; IIc – receiver transition zone; III – reservoir. The circles indicate the sampling stations for determining the structural and functional parameters of bacterio- and zooplankton.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальная температура воды на изучаемой акватории зарегистрирована в мае и второй половине лета 2010 г. [Bolotov et al., 2014]. В это же время отмечена достаточно высокая значимая корреляция между температурой и показателями ОВ – ПО, ХПК, С<sub>орг</sub>, Q1, Нум, Цв,  $r=0.94, 0.96, 0.96, 0.96, 0.98$  и  $1.0$  соответственно,  $p < 0.05$ . В мае–июне 2009 г.

В воде исследованной акватории наблюдаются максимальные значения ХПК, ПО, Нум, С<sub>орг</sub>, Q1, Fe<sub>раст</sub> и Fe<sub>общ</sub>, Цв, обусловленные наличием ОВ преимущественно растительного происхождения (гуминовые, фульвокислоты). Большое количество атмосферных осадков в июне 2010 г. обусловило максимальные концентрации показателей ОВ, железа общего и раство-

ренного [Bolotov, 2014]. В зонах переходной притока и фронтальной общее количество ОВ в 2010 стабильно превышало таковое в 2009 г. с июня по сентябрь, максимальная разница отмечена в июле.

Грунтовые воды по сравнению с поверхностно-склоновыми имеют меньшее количество растворенных ОВ, их химический состав обусловлен трансформацией органических соединений в процессе фильтрации воды в толще почво-грунтов. Поэтому с переходом на преимущественно грунтовое питание, на всей изучаемой акватории отмечена тенденция к снижению показателей ОВ и железа. Аналогичные процессы наблюдались в вегетационный период 2010 г. на малой р. Таденке (Московская обл.). Из-за аномальной жары и дефицита атмосферных осадков проточные участки реки практически пересохла, питание водотока осуществлялось исключительно за счет грунтовых вод, в результате даже в заболоченном верховье реки значения всех показателей органического вещества были гораздо ниже таковых по сравнению с аналогичным периодом 2009 г [Otyukova, 2021].

В оба исследованных периода (2009 и 2010 гг.) на изучаемой акватории отчетливо выражена сезонная динамика минерализации воды с весенним минимумом и осенним максимумом (табл. 1).

От зоны свободного течения притока до зоны водохранилища макрокомпонентный гидрохимический состав неоднороден: в течение всего периода наблюдений значения минерализации максимальные в зоне I с дальнейшим понижением к зоне III. Разница в ее значениях между зонами I–III может составлять до 390 мг/дм<sup>3</sup>. В 2009 г. в устьевой области реки абсолютные значения минерализации могут превышать таковые в 2010 г. в 4 раза (табл. 1). В июне 2010 г. осадков выпало в 2.5 раза больше относительно того же периода 2009 г. [Bolotov et al., 2014], что немедленно сказалось на существенном понижении суммы ионов в зоне I (табл. 1). Средние значения минерализации в исследованных зонах УО р. Ильд за весь период наблюдений в 2010 г. ниже таковых в 2009 г. В гипотетических солях вне зависимости от сезона превалирует Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. На втором месте по количеству Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, самые низкие значения приходятся на KCl (табл. 2).

В макрокомпонентном химическом составе воды исследованных участков доминируют гидрокарбонат-ионы, ионы кальция и

магния, на их долю в 2009 г. приходилось до 93.5%-экв., в 2010 г. – до 92.1%-экв. Так, в 2009 г. от участка свободного течения реки к водохранилищу относительное содержание HCO<sub>3</sub> и Mg больше, чем в 2010 г. в среднем на 1.1–2.1%-экв. и 1.2–1.8%-экв. соответственно. При этом относительное содержание ионов SO<sub>4</sub>, Cl и Ca, напротив, меньше.

В зонах I–III содержание ионов кальция выше, чем магния в 2009 г. в 1.5–2.0 раза, в 2010 г. – в 1.7–2.4 раза (табл.1). Минимальные величины отношения кальция к магнию отмечены у истока реки, где основную роль в формировании химического состава воды играет склоновый почвенно-поверхностный сток, в котором содержание магния повышено за счет накопления его в лесной подстилке и толще почво-грунтов. На глубоководном участке водохранилища в оба исследованных года концентрация ионов кальция выше, чем магния в среднем в 2 раза. Увеличение отношения кальция к магнию характерно для периодов, когда питание реки осуществляется за счет грунтовых вод. Так, в июле 2010 г. коэффициент отношения Ca/Mg в среднем составляет 2.16–2.47.

В оба исследованных года на изучаемой акватории содержание калия находится в пределах 0.6–1.2%-экв., что заметно ниже содержания натрия (2.9–3.9%-экв.) В период весеннего половодья величина отношения K/Na (мг-экв/дм<sup>3</sup>) достигает максимальных значений (<0.58), что обусловлено выносом в реку с почвенно-поверхностным стоком накопившегося после разложения растительных остатков в почвах калия.

Река Ильд находится в зоне избыточного увлажнения и характеризуется хорошей промытостью почв, особенно от легкорастворимых солей (сульфатов и хлоридов), грунтовые воды имеют крайне низкие концентрации сульфатов (менее 2 мг/дм<sup>3</sup>) и хлоридов (2–4 мг/дм<sup>3</sup>). При смешанном характере питания реки концентрация хлоридов возрастает, не превышая в воде исследованной акватории в 2009 г. в среднем 8.0 мг/дм<sup>3</sup>, в 2010 г. – 13.0 мг/дм<sup>3</sup>. Хлориды не образуют труднорастворимых солей с обычно присутствующими в речной воде катионами, не накапливаются биогенным путем, не сорбируются, поэтому почти полностью остаются в составе речной воды. В устьевой области реки, в месте смешения речных и водохранилищных вод, наблюдается снижения содержания хлоридов в воде путем разбавления.

**Таблица 1.** Компоненты солевого состава (мг/дм<sup>3</sup>) в исследованных зонах устьевой области р. Ильд в 2009 и 2010 гг. (\* – здесь и в табл. 2, 3 – нет данных)

**Table 1.** Components of the salt composition (mg/dm<sup>3</sup>) in the studied zones of the mouth area of the river. Ild in 2009 and 2010 (\* – here and in tables 2, 3 – no data)

Месяц Month	Зона Zone	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		Na <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>		Σi		
		2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	
Май May	I	258.73	136.99	4.17	6.02	3.44	5.07	52.45	29.94	17.60	9.51	6.42	4.43	2.54	4.43	345.35	196.39	
Июнь June		330.12	77.50	3.63	3.58	4.30	2.52	66.34	16.26	22.35	5.24	9.40	2.68	2.13	1.75	438.27	109.53	
Июль July		313.84	200.76	4.41	3.24	5.76	3.34	62.54	43.90	21.96	12.49	9.55	4.45	1.91	1.63	419.77	269.81	
Август August		390.53	380.76	6.60	7.89	7.98	7.42	77.61	78.54	27.27	25.44	12.14	12.29	2.37	2.73	524.50	515.07	
Сентябрь September		462.84	394.80	7.07	22.88	7.48	13.58	91.28	85.55	32.53	26.82	13.83	16.69	4.20	4.85	619.23	565.17	
Май May		IIa	244.69	158.90	3.93	5.87	3.27	4.43	50.00	34.60	16.70	10.74	5.92	4.55	2.29	1.62	326.80	220.71
Июнь June			298.39	156.59	3.00	3.42	3.79	2.83	60.63	36.16	20.14	10.58	7.45	3.67	1.91	1.73	395.31	224.98
Июль July			288.63	253.76	4.19	4.50	4.83	4.29	57.70	53.52	20.01	16.47	8.45	6.77	2.13	1.77	385.94	341.08
Август August			359.90	320.78	6.64	6.23	7.24	6.34	71.11	65.40	25.63	21.79	11.46	10.22	3.24	2.54	485.22	433.30
Сентябрь September	396.80		414.33	7.79	20.58	8.13	12.92	75.63	88.21	29.32	27.92	13.61	17.48	4.50	5.03	535.78	586.47	
Май May	IIb		213.45	123.08	3.75	6.84	2.75	4.13	43.54	27.40	14.56	8.60	5.12	3.72	2.41	1.54	285.58	175.31
Июнь June			216.40	145.22	3.38	3.25	4.00	2.66	44.69	31.69	14.47	9.20	5.42	3.21	2.24	1.74	289.60	196.97
Июль July			212.52	161.34	3.85	3.94	4.01	3.32	41.84	35.79	14.25	10.04	5.73	3.82	2.04	1.60	284.24	219.85
Август August			225.29	185.87	6.17	4.85	5.03	4.96	45.94	40.14	15.57	12.07	6.79	5.48	2.20	1.96	307.00	255.33
Сентябрь September		278.62	274.96	7.24	8.72	7.51	7.58	56.49	59.39	20.06	17.98	8.86	8.95	2.87	3.56	381.65	381.14	

Месяц Month	Зона Zone	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		Na <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>		Σi	
		2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
Май May	IIc	160.69	88.02	4.76	7.51	2.38	3.54	34.81	21.09	10.20	5.96	3.90	2.68	2.10	1.26	218.86	130.06
Июнь June		158.85	146.81	4.70	4.76	2.97	3.23	34.76	32.68	10.05	9.07	4.10	3.79	1.92	1.75	217.35	202.09
Июль July		159.72	135.77	3.94	4.50	3.29	3.01	33.45	31.64	10.72	7.73	4.41	3.35	1.76	1.53	217.29	187.53
Август August		194.05	149.13	6.30	4.76	4.28	3.77	39.63	33.62	13.95	8.95	5.96	4.31	1.91	1.70	266.08	206.24
Сентябрь September		208.69	200.35	8.47	7.44	5.63	4.95	47.92	45.64	15.03	12.10	7.29	6.05	2.05	1.78	290.13	278.31
Май May		III	—*	80.85	—	13.59	—	5.61	—	22.74	—	5.14	—	2.54	—	1.39	—
Июнь June	123.26		134.55	6.64	6.23	3.85	3.24	29.20	32.96	7.39	7.39	3.47	3.11	1.87	1.47	175.68	188.95
Июль July	127.53		122.05	5.13	5.43	3.10	2.99	28.93	30.26	7.80	6.43	3.47	2.84	1.72	1.29	177.68	171.29
Август August	138.21		134.24	7.59	7.13	3.92	3.46	32.33	33.28	8.57	7.43	3.75	3.23	1.78	1.63	196.15	190.40
Сентябрь September	153.77		120.21	13.32	8.93	5.67	5.50	37.11	32.41	10.18	6.44	5.07	3.18	2.07	1.15	227.19	177.82

**Таблица 2.** Связывание ионов в гипотетические соли (мг-экв/дм<sup>3</sup>) в исследованных зонах устьевой области р. Ильд в 2009 и 2010 гг.**Table 2.** Binding of ions to hypothetical salts (mg-eq/dm<sup>3</sup>) in the studied zones of the mouth area of the r. Ild in 2009 and 2010

Месяц Month	Зона Zone	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		NaHCO <sub>3</sub>		Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		MgSO <sub>4</sub>		KCl		MgCl <sub>2</sub>		
		2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	
Май May	I	5.24	2.98	0.56	0.38	2.68	1.14	0.18	0.26	0.14	0.10	0.04	0.16	
Июнь June		6.62	1.62	0.82	0.24	3.38	0.68	0.16	0.16	0.10	0.10	0.14	0.02	
Июль July		6.24	4.38	0.84	0.38	3.20	1.82	0.18	0.14	0.08	0.08	0.24	0.10	
Август August		7.74	7.84	1.06	1.06	4.00	3.58	0.28	0.32	0.12	0.14	0.20	0.28	
Сентябрь September		9.12	8.54	1.18	1.46	4.88	2.94	0.30	0.96	0.22	0.24	0.18	0.52	
Май May		IIa	5.00	3.46	0.52	0.40	2.50	1.34	0.16	0.24	0.08	0.08	0.10	0.18
Июнь June			6.06	3.60	0.64	0.32	3.08	1.54	0.12	0.14	0.10	0.08	0.12	0.06
Июль July			5.76	5.34	0.74	0.58	2.96	2.40	0.18	0.18	0.12	0.10	0.16	0.14
Август August			7.10	6.52	1.00	0.88	3.70	3.12	0.28	0.26	0.16	0.14	0.24	0.20
Сентябрь September	7.54		8.80	1.18	1.52	4.28	3.26	0.32	0.86	0.24	0.26	0.22	0.48	
Май May	IIb		4.34	2.74	0.44	0.32	2.22	0.98	0.16	0.28	0.12	0.08	0.02	0.16
Июнь June			4.46	3.16	0.48	0.28	2.12	1.32	0.14	0.14	0.10	0.10	0.12	0.06
Июль July			4.18	3.58	0.50	0.34	2.28	1.36	0.06	0.16	0.10	0.04	0.10	0.14
Август August			4.58	4.00	0.60	0.48	2.20	1.62	0.26	0.20	0.12	0.10	0.10	0.16
Сентябрь September		5.64	5.92	0.78	0.78	2.72	2.72	0.30	0.36	0.14	0.14	0.28	0.28	
Май May		IIc	3.48	2.10	0.34	0.24	1.44	0.54	0.20	0.32	0.10	0.06	0.04	0.12
Июнь June			3.48	3.26	0.36	0.34	1.36	1.22	0.20	0.20	0.06	0.10	0.10	0.08
Июль July			3.34	3.16	0.38	0.30	1.52	1.00	0.16	0.18	0.10	0.08	0.08	0.10
Август August			3.96	3.36	0.52	0.38	1.88	1.14	0.26	0.20	0.08	0.08	0.16	0.14
Сентябрь September	4.28		4.56	0.64	0.52	1.92	1.48	0.36	0.32	0.18	0.08	0.20	0.20	
Май May	III		-	2.28	-	0.22	-	0.16	-	0.56	-	0.20	-	0.12
Июнь June			2.92	3.30	0.30	0.28	0.82	0.84	0.28	0.26	0.10	0.06	0.12	0.12
Июль July			2.88	3.02	0.30	0.24	1.00	0.74	0.22	0.22	0.08	0.06	0.06	0.10
Август August			3.22	3.32	0.32	0.28	1.00	0.80	0.32	0.30	0.10	0.08	0.10	0.12
Сентябрь September		3.70	3.24	0.44	0.28	0.90	0.42	0.56	0.38	0.10	0.06	0.22	0.26	

Концентрация сульфатов в воде исследованной акватории в 2009 г. составляла в среднем 3.6–13.3 мг/дм<sup>3</sup>, в 2010 г. – 3.6–22.9 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 1). Являясь жизненно необходимым элементом, входя в состав белков, аминокис-

лот и других органических соединений, сера активно потребляется живыми организмами. Поэтому за счет активного биогенного поглощения сульфатов минимальные их концентрации присущи летней межени в оба исследо-

ванных года. По содержанию гипотетических солей так же видно, что количество  $MgSO_4$  в июне–июле меньше относительно других периодов (табл. 2). Увеличение содержания сульфатов в речной воде может быть связано с поступлением их с атмосферными осадками и разложением растительных остатков как на водосборе, так и в реке. В 2010 г. на био-генное происхождение сульфатов указывает высокий коэффициент корреляции между калием и сульфатами,  $r=0.71$ ,  $p < 0.05$ . В 2009 г. корреляция между этими компонентами не значимая,  $r=0.24$ ,  $p < 0.05$ .

От весны к осени на всей изучаемой акватории отмечена тенденция к понижению относительного содержания  $HCO_3^-$  в оба исследованных года. Содержание гипотетических солей  $NaHCO_3$  и  $MgHCO_3$  в 2009 г. превышало таковые в 2010 г. в 3.4 и 5.0 раз соответственно (табл. 2).

Содержание общего железа на исследованной акватории находится в 2009 г. в пределах  $0.16–1.03$  мг/дм<sup>3</sup>, в 2010 г. –  $0.16–0.51$  мг/дм<sup>3</sup> (табл.3). Максимальные значения характерны для мая–июня, далее отмечено снижение этого показателя. Концентрации растворенного железа в мае 2009 г. вдвое выше, чем в 2010 г. При этом содержание общего железа практически во всех зонах устьевой области реки Ильд в мае–июне 2009 г. превышает таковое в 2010 г. В остальные периоды концентрации  $Fe_{раст}$  и  $Fe_{общ}$  в оба исследованных года сопоставимы. Об органической природе железа в воде свидетельствует значимая корреляция между железом и показателями ОВ в оба исследованных года,  $r=0.89–1.0$ ,  $p < 0.05$ . Аналогичная зависимость растворенного железа от показателей содержания гумусовых веществ описана для водохранилищ Днепровского каскада и рек бассейна р. Припяти [Lipnik et al., 2018].

О формах существования железа в воде дает представление соотношение  $Fe_{раст}/Fe_{взв}$ . В мае–июне оно максимальное и составляет в 2009 г. 4.9, в 2010 г. – 2.2, что свидетельствует о преобладании растворенных форм железа над взвешенными (табл. 3). С июля по сентябрь величина отношения  $Fe_{раст}/Fe_{взв}$  на изучаемой акватории значительно снижается, железо в основном представлено взвешенной формой.

В формировании химического состава рек лесной зоны определяющую роль играет поверхностно-склоновый сток, богатый ОВ, содержащими значительные количества гуми-

новых веществ и железоорганических комплексов. Для ОВ природных вод характерна высокая вариабельность косвенных показателей, отражающих его содержание в воде. Комплексную характеристику ОВ в воде может дать показатель ее гумусности (Hum) [Лозовик, 2006 (Lozovik, 2006)]. Показатель физиологической калорийности (Q1) – энергии, выделяющейся на первой стадии бактериального разложения ОВ с образованием  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $NH_3$  – важен для комплексных экологических исследований водоемов [Бикбулатов, 2009 (Bikbulatov, 2009)].

В устьевые области рек как нижние звенья ландшафтно-геохимических систем речных бассейнов с речным стоком поступает большое количество химических веществ. Часть их проходит в приемные водоемы, а часть аккумулируется в устьевых аквасистемах [Глазовская, 1988 (Glazovskaya, 1988)]. По структурно-функциональным показателям бактерио- и зоопланктона и проявлению краевого эффекта устьевая область р. Ильд была определена как экотон с характерными для него буферными свойствами [Bolotov et al., 2014]. В оба исследованных года отмечена тенденция к увеличению ВВ от зоны свободного течения к устьевому участку и снижению в водохранилище (табл. 3). Практически на протяжении всего периода исследований количество ВВ в 2010 г. выше, чем в 2009 г. Ранее было установлено, что максимальный краевой эффект отмечен во фронтальной зоне УО р. Ильд за счет аккумуляции значительного количества ОВ [Bolotov et al., 2014]. В августе 2010 г. в зоне IIb наблюдается максимальное количество ВВ, вдвое превышающее таковое в 2009 г.

В условиях аномальной жары летом 2010 г. бурное развитие водной растительности [Лебедева и др., 2011 (Lebedeva et al., 2011)] в результате фотосинтетической деятельности обеспечило водоток растворенным кислородом на уровне 2009 г. и не допустило его дефицита, который наблюдался в этот период в ряде водоемов [Efremova et al., 2015; Корнева и др., 2019 (Korneva et al., 2019)] (табл. 3). Абсолютное и относительное содержание растворенного  $O_2$  в оба исследованных года были сопоставимы. Содержание биохимически нестойких веществ (ЛОВ), поступающих в реку в результате жизнедеятельности фитопланктона, отмерших организмов и промежуточных продуктов их разложения, определялось по БПК<sub>5</sub>.

**Таблица 3.** Физико-химические показатели в исследованных зонах устьевой области р. Ильд в 2009 и 2010 гг. (числитель – 2009 г., знаменатель – 2010 г.; \* – мг/дм<sup>3</sup>)

**Table 3.** Physical and chemical indicators in the studied zones of the mouth area of the river. Ild in 2009 and 2010 (numerator – 2009, denominator – 2010; \* – mg/dm<sup>3</sup>)

Месяц Month	Зона Zone	T°C	O <sub>2</sub> *	O <sub>2</sub> , %	БПК <sub>5</sub> BOD <sub>5</sub> *	ПО PO *	ХПК DO *	C <sub>орг</sub> C <sub>org</sub> *	Q1, кал/л cal/l	Hum	ЛФ LF, %	ЦВ Color, град. degree	Fe <sub>общ</sub> Fe <sub>total</sub> *	Fe <sub>раств</sub> Fe <sub>diss</sub> *	Fe <sub>взв</sub> Fe <sub>susp</sub> *	ВВ SM *	Fe <sub>раств</sub> / Fe <sub>взв</sub> Fe <sub>diss</sub> / Fe <sub>susp</sub>
Май May	I	8.7 18.3	10.0 9.1	86 97	1.8 1.7	26.4 19.1	51.8 38.2	19.4 14.3	176.1 130.0	78.4 56.6	3.5 4.5	233 168	0.89 0.76	0.74 0.36	0.15 0.40	15 17	4.9 0.9
Июнь June	IIa	11.1 18.8	8.6 7.3	78 79	2.0 1.9	25.8 17.5	49.5 41.0	18.6 15.4	168.0 139.4	74.5 55.2	4.0 4.6	215 174	0.88 0.62	0.60 0.35	0.28 0.27	16 17	2.1 1.3
Июль July	IIb	10.1 18.8	8.4 7.3	75 79	2.1 2.6	25.7 16.5	48.6 37.9	18.2 14.2	165.2 128.9	71.9 53.0	4.3 6.9	201 170	0.72 0.42	0.54 0.28	0.18 0.14	14 15	3.0 2.0
Август August	IIc	9.7 16.5	9.3 8.7	82 90	2.9 3.1	19.6 13.9	40.2 35.1	15.1 13.2	136.7 119.3	52.2 44.3	7.2 8.8	139 141	0.50 0.37	0.38 0.24	0.12 0.13	13 11	3.2 1.9
Сентябрь September	III	12.5 14.0	8.2 8.9	77 87	2.0 1.7	- 10.1	- 22.9	- 8.6	- 77.9	- 31.0	- 7.4	- 95	- 0.25	- 0.17	- 0.08	- 14	- 2.1
Май May	I	17.1 16.9	8.8 8.8	92 91	0.6 1.7	20.3 24.4	41.1 51.2	15.4 19.2	139.7 174.1	48.9 72.8	1.5 3.3	118 217	1.03 0.81	0.33 0.50	0.70 0.31	18 21	0.5 1.6
Июнь June	IIa	18.0 17.5	7.0 7.4	74 78	1.2 2.0	19.5 24.5	50.9 56.8	19.1 21.3	173.1 193.1	51.9 74.1	2.4 3.5	138 224	0.98 0.76	0.31 0.51	0.67 0.25	15 19	0.5 2.0
Июль July	IIb	19.8 18.0	7.2 7.1	80 76	3.8 3.1	21.9 22.8	50.8 56.2	19.1 21.1	172.7 191.1	59.2 69.7	7.5 5.5	160 213	0.74 0.69	0.49 0.44	0.25 0.25	16 22	2.0 1.8
Август August	IIc	19.1 15.4	6.4 8.5	70 85	1.8 2.4	18.6 17.1	44.1 42.5	16.5 15.9	149.9 144.5	46.2 50.1	4.1 5.6	115 147	0.42 0.53	0.28 0.38	0.14 0.15	17 14	2.0 2.5
Сентябрь September	III	19.4 15.2	7.6 8.5	83 85	1.6 1.3	17.2 10.8	33.7 34.4	12.6 12.9	114.6 117.0	45.1 31.9	4.7 3.8	118 94	0.34 0.24	0.27 0.16	0.07 0.08	12 13	3.9 2.0
Май May	I	17.1 21.1	7.3 7.2	76 82	0.7 0.7	10.7 -	28.2 -	10.6 -	95.9 -	31.2 -	2.5 -	91 -	0.28 -	0.15 -	0.13 -	9 -	1.2 -
Июнь June	IIa	17.7 23.1	6.2 6.0	66 71	0.8 2.2	12.5 14.8	28.8 44.3	10.8 16.6	97.9 150.9	35.0 38.1	2.8 3.0	98 98	0.35 0.37	0.12 0.06	0.23 0.31	13 34	0.5 0.2
Июль July	IIb	20.8 25.3	6.4 7.2	72 86	2.7 5.0	16.0 16.0	43.3 46.0	16.2 17.3	147.2 156.4	46.5 44.7	6.2 10.9	135 125	0.37 0.38	0.26 0.22	0.11 0.16	15 28	2.4 1.4
Август August	IIc	20.4 24.2	4.9 5.7	55 69	1.6 4.5	14.3 13.1	42.7 49.1	16.0 18.4	145.2 166.9	38.9 35.1	3.7 9.2	106 94	0.29 0.34	0.17 0.13	0.12 0.21	22 25	1.4 0.6
Сентябрь September	III	20.9 23.1	- 6.9	- 81	0.9 2.4	14.7 11.4	38.0 33.9	14.3 12.7	129.2 115.3	37.8 30.6	2.4 7.1	97 82	0.16 0.16	0.08 0.06	0.08 0.10	10 23	1.0 6.0
Май May	I	11.9 8.2	8.8 7.6	82 65	0.8 2.9	9.4 4.0	17.4 14.8	6.5 5.6	59.2 50.3	19.6 10.0	4.6 19.6	41 25	0.19 0.18	0.07 0.05	0.12 0.13	9 14	0.6 0.4
Июнь June	IIa	15.0 11.2	7.1 7.1	71 65	0.8 1.0	9.8 5.7	24.1 31.5	9.0 11.8	81.9 107.1	21.2 15.1	3.3 3.2	46 40	0.27 0.28	0.07 0.06	0.20 0.22	13 26	0.4 0.3

Месяц Month	Зона Zone	T°C	O <sub>2</sub> *	O <sub>2</sub> , %	БПК <sub>5</sub> BOD <sub>5</sub> *	ПО PO *	ХПК DO *	C <sub>орг</sub> C <sub>org</sub> *	Q1, кал/л cal/l	Hum	ЛФ LF, %	Цв Color, град. degree	Fe <sub>общ</sub> Fe <sub>total</sub> *	Fe <sub>раств</sub> Fe <sub>diss</sub> *	Fe <sub>взв</sub> Fe <sub>susp</sub> *	BB SM *	Fe <sub>раств</sub> / Fe <sub>взв</sub> Fe <sub>diss</sub> / Fe <sub>susp</sub>
Июль July	Пб	<u>14.2</u> 16.5	<u>6.0</u> 7.5	<u>59</u> 77	<u>4.9</u> 7.6	<u>16.5</u> 13.6	<u>37.5</u> 48.6	<u>14.1</u> 18.2	<u>127.5</u> 165.2	<u>36.3</u> 32.6	<u>13.1</u> 15.6	<u>80</u> 78	<u>0.29</u> 0.40	<u>0.09</u> 0.08	<u>0.20</u> 0.32	<u>17</u> 39	<u>0.5</u> 0.3
Август August	Пс	<u>14.9</u> 16.5	<u>5.6</u> 6.2	<u>56</u> 64	<u>1.1</u> 5.0	<u>15.6</u> 12.4	<u>30.4</u> 44.4	<u>11.4</u> 16.7	<u>103.4</u> 151.0	<u>35.8</u> 31.1	<u>3.6</u> 11.3	<u>82</u> 78	<u>0.26</u> 0.40	<u>0.12</u> 0.08	<u>0.14</u> 0.32	<u>11</u> 29	<u>0.9</u> 0.3
Сентябрь September	Ш	<u>13.6</u> 14.5	- 6.5	- 64	<u>1.0</u> 2.2	<u>15.5</u> 9.1	<u>29.6</u> 18.1	<u>11.1</u> 6.8	<u>100.6</u> 61.5	<u>39.0</u> 24.5	<u>3.4</u> 12.2	<u>98</u> 66	<u>0.18</u> 0.16	<u>0.10</u> 0.06	<u>0.08</u> 0.10	<u>12</u> 15	<u>1.3</u> 0.6
Май May	И	<u>11.9</u> 8.2	<u>8.8</u> 7.6	<u>82</u> 65	<u>0.8</u> 2.9	<u>3.0</u> 4.0	<u>7.5</u> 19.4	<u>2.8</u> 7.3	<u>25.5</u> 66.0	<u>7.9</u> 11.3	<u>10.6</u> 15.0	<u>21</u> 32	<u>0.26</u> 0.34	<u>0.10</u> 0.10	<u>0.16</u> 0.24	<u>7</u> 17	<u>0.6</u> 0.4
Июнь June	Па	<u>15.0</u> 11.2	<u>7.1</u> 7.1	<u>71</u> 65	<u>1.0</u> 2.6	<u>5.0</u> 3.8	<u>17.5</u> 20.7	<u>6.6</u> 7.8	<u>59.5</u> 78.7	<u>10.5</u> 12.0	<u>5.7</u> 12.6	<u>22</u> 38	<u>0.29</u> 0.43	<u>0.09</u> 0.08	<u>0.20</u> 0.35	<u>6</u> 5	<u>0.5</u> 0.2
Июль July	Пб	<u>14.2</u> 16.5	<u>6.0</u> 7.5	<u>59</u> 77	<u>2.3</u> 3.7	<u>9.7</u> 9.3	<u>27.7</u> 29.7	<u>10.4</u> 11.1	<u>94.2</u> 100.1	<u>21.4</u> 19.5	<u>8.3</u> 12.5	<u>47</u> 41	<u>0.34</u> 0.21	<u>0.13</u> 0.05	<u>0.21</u> 0.16	<u>12</u> 18	<u>0.6</u> 0.3
Август August	Пс	<u>14.9</u> 16.5	<u>5.6</u> 6.2	<u>53</u> 64	<u>0.9</u> 2.3	<u>12.0</u> 6.9	<u>28.7</u> 25.3	<u>10.8</u> 9.5	<u>97.6</u> 86.0	<u>27.1</u> 18.4	<u>3.1</u> 9.1	<u>61</u> 49	<u>0.27</u> 0.35	<u>0.16</u> 0.08	<u>0.11</u> 0.27	<u>8</u> 24	<u>1.5</u> 0.3
Сентябрь September	Ш	<u>13.6</u> 14.5	- 6.5	- 64	<u>0.9</u> 1.3	<u>13.0</u> -	<u>36.0</u> -	<u>13.5</u> -	<u>122.4</u> -	<u>29.5</u> -	<u>2.5</u> -	<u>67</u> -	<u>0.21</u> -	<u>0.11</u> -	<u>0.10</u> -	<u>4</u> -	<u>1.1</u> -

Максимальные его значения отмечены в июле и августе 2010 г. во фронтальной зоне и переходной зоне приемника. В 2009 г. значения ЛОВ могут быть ниже таковых в 2010 г. В 4 раза (табл. 3). Максимальная концентрация ЛФ ОВ (до 19,6%) отмечена в августе и сентябре 2010, когда ОВ было представлено свежееобра-

зованными соединениями – продуктами биохимического распада растительных и животных остатков, продуктами обмена веществ живых организмов, главным образом планктона. Так же в 2010 г. на исследованной акватории отмечена положительная корреляция БПК<sub>5</sub> с температурой воды ( $r=0.45$ ).

## ВЫВОДЫ

Повышение температуры воды летом 2010 г. сказалось на изменении некоторых гидрохимических характеристик в воде исследованных зон устьевого области реки Ильд. В период максимального прогрева воды в отдельных исследованных зонах УО реки общее количество ОВ в 2010 стабильно превышало таковое в 2009 г., зарегистрированы максимальные значения ЛОВ, ЛФ ОВ, ВВ. Отмечена высокая значимая корреляция между температурой и показателями ОВ. Органическое вещество представлено преимущественно свежееобразованными соединениями, преобладает взвешенная форма железа над растворенной. При

этом температурные аномалии не отразились на содержании растворенного кислорода. В оба исследованных года выявлен тренд снижения минерализации от зоны I к III. На протяжении всего периода наблюдений значения минерализации в 2010 г. были ниже таковых в 2009 г.

Полученные данные могут быть полезны для дальнейших наблюдений за гидрохимическим режимом водных экосистем аридной зоны в аномальные климатические периоды, а так же быть использованы при прогнозировании гидрохимического состава водных объектов в условиях глобального потепления климата.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 121051100104-6.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1970. 444 с.
- Бикбулатов Э.С. Биоэлементы и их трансформация в водных экосистемах. Рыбинск: “Рыбинский дом печати”, 2009. 290 с.
- Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н. Погода на территории Российской Федерации в 2010 году // [http://www.meteo.ru/climate\\_var/](http://www.meteo.ru/climate_var/)
- Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высш. шк., 1988. 328 с.
- Климатические рекорды прошедшего пятилетия на территории Ярославской области (Электронный ресурс) // Сайт ГУ “Ярославский ЦГМС”. Режим доступа: <http://www.yacgms.ru/-2006-2010>.
- Корнева Л.Г., Лазарева В.И., Минеева Н.М., Сигарева Л.Е., Соколова Е.А., Тимофеева Н.А., Митропольская И.В., Соловьева В.В. Состояние и динамика биологических сообществ Рыбинского водохранилища в условиях изменения климата // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2019. Т. 12. №2. С. 160–179. DOI: 10.17516/1997-1389-0037
- Лебедева М.Г., Клубкова Г.В., Колмыков С.Н. Водный режим рек Белгородской области в условиях аномальной жары 2010 года // Научные ведомости. Серия Естественные науки. 2011. №15 (110). Вып. 16. С. 186–192.
- Лозовик П.А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию. Автореф. дис. ... докт. хим. наук. М.: Ин-т геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, 2006. 59 с.
- Отюкова Н.Г. Динамика содержания железа в речных аквальных комплексах (на примере реки Ильд бассейна Рыбинского водохранилища) // Труды Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН. 2016. Вып. 75 (78). С. 75–81.
- Потемкина Т.Г., Потемкин В.Л., Гусева Е.А. Озерно-речная система озера Байкал – р. Селенга в условиях изменяющейся окружающей среды // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. 2016. № 2 (55) С.103–115.
- Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семенова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 542 с.
- Blenkner T., Chen D. Comparison of the impact of regional and North Atlantic atmospheric circulation on an aquatic ecosystem // Climate Research. 2003. Vol. 23. P 131–136. DOI:10.3354/cr023131
- Bolotov S.E., Romanenko A.V., Tszvetkov A.I., Otyukova N.G., Sokolova E.A., Krylov A.V. Bacterio- and zooplankton in the outfall of a flatland water reservoir during a period of abnormal climatic conditions // Inland Water Biology. 2014. Vol. 7. № 1. P. 37–47. DOI: 10.1134/S1995082914010052
- Dole R., Hoerling M., Perlwitz J., Eischeid J. et al. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? // Geophysical Res. Lett. 2011. Vol. 38. L06702. DOI: 10.1029 / 2010GL046582
- Efremova T.V., Pal'shin N.I., Zdorovennova G.E., Terzhevik A.Y. The effects of extremely hot summer 2010 on water temperature and oxygen distribution in Karelian lakes // Russian Meteorology and Hydrology. 2015. Vol. 40. № 9. P. 612–618. DOI: 10.3103/S106837391509006X

- Gerten D., Adrian R. Climate-driven changes in spring plankton dynamics and the sensitivity of shallow polymictic lakes to the North Atlantic Oscillation // *Limnol. Oceanography*. 2000. Vol. 45. №5. P. 1058–1066. DOI:10.4319/lo.2000.45.5.1058
- Ginzburg A.S. Regional air temperature maxima and the possibility of their simple energy-balance estimates // *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2011. Vol. 47. № 6. P. 665–671. DOI: 10.1134/S0001433811060053
- Gruza G.V., Ran'kova E.Y. Estimation of probable contribution of global warming to the genesis of abnormally hot summers in the European part of Russia // *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2011. Vol. 47. № 6. P. 661–664. DOI: 10.1134/S0001433811060065
- Krylov A.V., Tsvetkov A.I., Malin M.I., Romanenko A.V., Poddubnii S.A., Otkukova N.G. Communities of hydrobionts and the physical-chemical characteristics of the estuary area of inflow of a flat water basin // *Inland Water Biology*. 2010. Vol. 3. № 1. P. 59–69. DOI: 10.1134/S1995082910010086
- Linnik P.N., Zhezherya V.A., Linnik R.P. Iron in Natural Surface Waters of Ukraine: Content, Peculiarities of Migration and Biological Role // *Gidrobiol. Zhurn*. 2018. Vol. 54. № 5. P. 63–80. DOI: 10.1615 / HydrobJ.v54.i5.70
- Mokhov I.I. Specific features of the 2010 summer heat formation in the European territory of Russia in the context of general changes and climate anomalies // *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2011. Vol. 47. № 6. P. 653–660. DOI: 10.1134/S0001433811060119
- Mooij W.M., Hülsmann S., D.L.N. De Senerpont, Nolet B.A., P.L.E. Bodelier et al. The impact of climate change on lakes in the Netherlands: a review // *Aquat. Ecol*. 2005. Vol. 39 (4). P. 381–400. DOI 10.1007/s10452-005-9008-0
- Otyukova N.G. Some aspects of the hydrochemical regime of a Small River under the conditions of zoogenic disturbance // *Water Resources*. 2009. Vol. 36. № 5. P. 604–609. DOI: 10.1134/S0097807809050133
- Otyukova N.G. Organic Matter in Water Bodies in Especially Protected Natural Territories: Case Study of Tributaries of Lake Pleshcheyevo, Yaroslavl Oblast, and Tributaries of the Tadenka River in Prioksko-Terrasnyi Nature Reserve, Moscow Oblast // *Water Resources*. 2021. Vol. 48. № 3. P. 449–458. DOI 10.1134/S0097807821030118
- Paerl H.W., Huisman J. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms // *Environ. Microbiol. Rep*. 2009. Vol. 1. №1. P. 27–37. DOI:10.1111/j.1758-2229.2008.00004.x
- Rahmstorf S., Coumou D. Increase of extreme events in a warmer world // *Proceedings of the National Academy of Sci*. 2011. Vol. 108. №44. P. 17905–17909. DOI: 10.1073/pnas.1101766108
- The impact of climate change on European lakes // *Aquatic Ecology Series / George G. (Ed.)*. Berlin: Springer, 2010. Vol. 4. 507 p. DOI: 10.1007/978-90-481-2945-4\_20
- Trenberth, K., Fasullo J. Climate extremes and climate change: The Russian heat wave and other climate extremes of 2010. // *Journal of Geophysical Research*. 2012. Vol. 117, D17103. DOI: 10.1029/2012JD018020

## REFERENCES

- Alyokin O.A. *Osnovy gidrohimii* [The basics of hydrochemistry]. L., Gidrometeoizdat, 1970, 444 p. (In Russian)
- Bikbulatov E.S. *Bioelementy i ih transformatsiya v vodnykh ekosistemakh*. Rybinsk, “Rybinskij dom pečati”, 2009. 290 p. (In Russian)
- Blenckner T., Chen D. Comparison of the impact of regional and North Atlantic atmospheric circulation on an aquatic ecosystem. *Climate Research*, 2003, vol. 23, pp. 131–136. doi: 10.3354/cr023131
- Bolotov S.E., Romanenko A.V., Tsvetkov A.I., Otyukova N.G., Sokolova E.A., Krylov A.V. Bacterio- and zooplankton in the outfall of a flatland water reservoir during a period of abnormal climatic conditions. *Inland Water Biology*, 2014, vol. 7, no. 1, pp. 37–47. doi: 10.1134/S1995082914010052
- Bulygina O.N., Korshunova N.N., Razuvaev V.N. Pogoda na territorii Rossijskoj Federacii v 2010 godu. [http://www.meteo.ru/climate\\_var/](http://www.meteo.ru/climate_var/) (In Russian)
- Dole R., Hoerling M., Perlwitz J., Eischeid J. et al. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? *Geophysical Res. Lett*, 2011, vol. 38. L06702. doi: 10.1029 / 2010GL046582
- Efremova T.V., Pal'shin N.I., Zdorovenova G.E., Terzhevnik A.Y. The effects of extremely hot summer 2010 on water temperature and oxygen distribution in Karelian lakes. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2015, vol. 40, no. 9, pp. 612–618. doi: 10.3103/S106837391509006X
- Gerten D., Adrian R. Climate-driven changes in spring plankton dynamics and the sensitivity of shallow polymictic lakes to the North Atlantic Oscillation. *Limnol. Oceanography*, 2000, vol. 45, no. 5, pp. 1058–1066. doi: 10.4319/lo.2000.45.5.1058
- Ginzburg A.S. Regional air temperature maxima and the possibility of their simple energy-balance estimates. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2011, vol. 47, no. 6, pp. 665–671. doi: 10.1134/S0001433811060053
- Glazovskaya M.A. *Geokhimiya prirodnyh i tekhnogennyh landshaftov SSSR*. M., Vyssh. shk., 1988. 328 p. (In Russian)
- Gruza G.V., Ran'kova E.Y. Estimation of probable contribution of global warming to the genesis of abnormally hot summers in the European part of Russia. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2011, vol. 47, no. 6, pp. 661–664. doi: 10.1134/S0001433811060065
- Klimaticheskie rekordy proshedshego pyatiletiya na territorii Yaroslavskoj oblasti (Elektronnyj resurs)*. Sajt GU “Yaroslavskij CGMS”. Rezhim dostupa: <http://www.yacgms.ru/-2006-2010>. (In Russian)
- Korneva L.G., Lazareva V.I., Mineeva N.M., Sigareva L.E., Sokolova E.A., Timofeeva N.A., Mitropol'skaya I.V., Solov'eva V.V. Sostoyaniye i dinamika biologicheskikh soobshchestv Rybinskogo vodohranilishcha v usloviyah izmeneniya klimata. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 160–179. doi: 10.17516/1997-1389-0037 (In Russian)

- Krylov A.V., Tsvetkov A.I., Malin M.I., Romanenko A.V., Poddubnii S.A., Otyukova N.G. Communities of hidrobionts and the physical-chemical characteristics of the estuary area of inflow of a flat water basin. *Inland Water Biology*, 2010, vol. 3, no. 1, pp. 59–69. doi: 10.1134/S1995082910010086
- Lebedeva M.G., Klubkova G.V., Kolmykov S.N. Vodnyj rezhim rek Belgorodskoj oblasti v usloviyah anomal'noj zhary 2010 goda. *Nauchnye vedomosti. Seriya Estestvennye nauki*, 2011, no. 15 (110), vyp. 16, pp. 186–192. (In Russian)
- Lozovik P.A. Hidrogeohimicheskie kriterii sostoyaniya poverhnostnyh vod gumidnoj zony i ih ustojchivosti k antropogennomu vozdeystviyu. Avtoref. dis. ... dokt. him. nauk. M.: In-t geohimii i analiticheskoy himii im. V.I. Vernad'skogo RAN, 2006. 59 p. (In Russian)
- Linnik P.N., Zhezhera V.A., Linnik R.P. Iron in Natural Surface Waters of Ukraine: Content, Peculiarities of Migration and Biological Role. *Gidrobiol. Zhur.*, 2018, vol. 54, no. 5, pp. 63–80. doi: 10.1615 / HydrobJ.v54.i5.70
- Mokhov I.I. Specific features of the 2010 summer heat formation in the European territory of Russia in the context of general changes and climate anomalies. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2011, vol. 47, no. 6, pp. 653–660. doi: 10.1134/S0001433811060119
- Mooij W.M., Hülsmann S., D.L.N. De Senerpont, Nolet B.A., P.L.E. Bodelier et al. The impact of climate change on lakes in the Netherlands: a review. *Aquat. Ecol.*, 2005, vol. 39 (4), pp. 381–400. doi: 10.1007/s10452-005-9008-0
- Otyukova N.G. Some aspects of the hydrochemical Regime of a Small River under the conditions of zoogenic disturbance. *Water Resources*, 2009, vol. 36, no. 5, pp. 604–609. doi: 10.1134/S0097807809050133
- Otyukova N.G. Dinamika sodержaniya zheleza v rechnyh akval'nyh kompleksah (na primere reki Ild bassejna Rybinskogo vodohranilishcha). [Dynamics of the iron content in river aquatic complexes (on the example of the Ild river in the Rybinsk reservoir basin)]. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2016, vol. 75(78), pp. 75–81. doi: 10.24411/0320-3557-2016-10023 (In Russian)
- Otyukova N.G. Organic Matter in Water Bodies in Especially Protected Natural Territories: Case Study of Tributaries of Lake Pleshcheyevo, Yaroslavl Oblast, and Tributaries of the Tadenka River in Prioksko-Terrasnyi Nature Reserve, Moscow Oblast. *Water Resources*, 2021, vol. 48, no. 3, pp. 449–458. doi: 10.1134/S0097807821030118
- Paerl H.W., Huisman J. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environ. Microbiol. Rep.*, 2009, vol. 1, no. 1, pp. 27–37. doi: 10.1111/j.1758-2229.2008.00004.x
- Potemkina T.G., Potemkin V.L., Guseva E.A. Ozero-rechnaya sistema ozera Bajkal – r. Selenga v usloviyah izmenyayushchey okruzhayushchey sredy [Lake-river system of Lake Baikal - r. Selenga in a changing environment]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sekcii nauk o Zemle RAEN*, 2016, no. 2 (55), pp. 103–115. (In Russian)
- Rahmstorf S., Coumou D. Increase of extreme events in a warmer world. *Proceedings of the National Academy of Sci.*, 2011, vol. 108, no. 44, pp. 17905–17909. doi: 10.1073/pnas.1101766108
- Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnyh vod sushi [Guidelines for the chemical analysis of land surface waters]. L., Gidrometeoizdat, 1977, 542 p. (In Russian)
- The impact of climate change on european lakes*. Aquatic Ecology Series. Berlin, Springer, 2010, vol. 4, 507 p. doi: 10.1007/978-90-481-2945-4\_20
- Trenberth K., Fasullo J. Climate extremes and climate change: The Russian heat wave and other climate extremes of 2010. *Journal of Geophysical Research*, 2012, vol. 117, D17103. doi: 10.1029/2012JD018020

**INFLUENCE OF ABNORMALLY HIGH WATER TEMPERATURE  
ON THE HYDROCHEMICAL REGIME OF THE MOUTH AREA OF A SMALL RIVER  
(BY THE EXAMPLE OF THE RYBINSK RESERVOIR INFLUENCE)**

**N. G. Otyukova**

*Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences,  
152742 Borok, Russia, e-mail: ong70@mail.ru*

The increase in water temperature in the summer of 2010 affected the change in some hydrochemical characteristics in the water of the mouth area of the river. Ild, a tributary of the Rybinsk Reservoir. The maximum water temperature in the studied area was recorded in May and the second half of summer 2010. A high significant correlation between temperature and organic matter indicators was noted. During the period of maximum warming up in 2010, the total amount of organic matter, its labile fraction, and suspended solids were significantly higher than the period close to the long-term average. A large amount of atmospheric precipitation in June 2010 determined the maximum concentrations of OM, total and dissolved iron. The organic matter is represented mainly by freshly formed compounds, the suspended form of iron prevails over the dissolved one. The organic nature of iron in water is evidenced by a significant correlation between iron and OM in both years studied,  $r = 0.89-1.0$ ,  $p < 0.05$ . At the same time, temperature anomalies did not affect the content of dissolved oxygen and an increase in water salinity. The macrocomponent chemical composition of the water in the studied areas is dominated by hydrocarbonate ions, calcium and magnesium ions. In 2009, the relative content of  $\text{HCO}_3$  and Mg from the section of the free flow of the river to the reservoir is higher than in 2010. At the same time, the relative content of  $\text{SO}_4$ , Cl, and Ca ions, on the contrary, is lower. From spring to autumn, a tendency towards a decrease in the relative content of  $\text{HCO}_3$  in both studied years was noted in the entire studied water area. The content of hypothetical salts  $\text{NaHCO}_3$  and  $\text{MgHCO}_3$  in 2009 exceeded those in 2010 by 3.4 and 5.0 times, respectively. In zones I – IIc, the content of calcium ions is 1.5–2.0 times higher than that of magnesium in 2009, and in 2010,

1.7–2.4 times. In the deep-water section of the reservoir in both years under study, the concentration of calcium ions is, on average, 2 times higher than that of magnesium. In both studied years, the potassium content in the studied water area is noticeably lower than the sodium content. During the spring flood, the K/Na ratio reaches its maximum values (up to 0.58). R. Ild is located in a zone of excessive moisture and is characterized by good soil leaching, especially from readily soluble salts (sulfates and chlorides), groundwater has extremely low concentrations of sulfates (less than 2 mg/dm<sup>3</sup>) and chlorides (2–4 mg/dm<sup>3</sup>). In 2009, the concentration of chlorides in the water of the studied water area does not exceed 8.0 mg/dm<sup>3</sup> on average, in 2010 – 13.0 mg/dm<sup>3</sup>. In the place of mixing of river and reservoir waters, a decrease in the content of chlorides in water by dilution is observed. The concentration of sulfates in the water of the studied water area in 2009 averaged 3.6–13.3 mg/dm<sup>3</sup>, in 2010 – 3.6–22.9 mg/dm<sup>3</sup>. Due to the active biogenic absorption of sulfates, their minimum concentrations are inherent in the summer low-water period in both studied years. The content of hypothetical salts also shows that the amount of MgSO<sub>4</sub> in June–July is less than in other periods.

*Keywords:* heat wave, hydrochemical composition, river mouth area

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕРЕСТОВОГО СТАДА СТЕРЛЯДИ *ACIPENSER RUTHENUS* (LINNAEUS, 1758) Р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА

И. И. Студенов<sup>1</sup>, А. Д. Быков<sup>2</sup>, Д. В. Чупов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Отдел Северный (СевПИИРО) Полярного филиала ФГБНУ “ВНИРО”  
163002, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 17, e-mail: studenov@pinro.ru

<sup>2</sup> ФГБНУ “ВНИРО”

Поступила в редакцию 14.09.2021

По результатам ихтиологического мониторинга состояния популяции стерляди в среднем течении р. Северная Двина в весенний период 2018–2020 гг. установлена большая зависимость величины уловов в стационарных ловушках от динамики уровня воды в реке, по сравнению с температурой воды. Представлена размерно-возрастная и половая структура популяции стерляди в период преднерестовых миграций и на местах нереста. Дается описание стадий зрелости гонад у стерляди нерестовой части популяции на нерестилище. Показана сравнительная изменчивость роста стерляди во временном аспекте и при сравнении между полами. Высокая изменчивость роста северодвинской стерляди по возрастным группам объясняется внутривидовой дифференциацией у этого вида осетровых.

*Ключевые слова:* стерлядь, р. Северная Двина, нерест, размерно-возрастная структура, рост, созревание.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-60-71

### ВВЕДЕНИЕ

В научной литературе описанию условий нереста стерляди *Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758) и структуре ее нерестовых скоплений в реках (Волга, Кама, Вятка, Обь) посвящено немного работ в связи со сложностью сбора ихтиологического материала в условиях весеннего паводка [Шмидтов, 1939 (Shmidtov, 1939); Лукин, 1946 (Lukin, 1946); Лукин, 1947 (Lukin, 1947); Зырянова, 1963 (Zyrjanova, 1963); Еньшина, 1978 (En'shina, 1978); Афанасьев, 1980 (Afanas'ev, 1980)]. Зарегулирование стока крупных рек бассейна р. Волга привело к снижению масштабов естественного воспроизводства стерляди и резкому сокращению площади нерестилищ, на которых данные наблюдения стали возможными [Бартош, 2004 (Bartosh, 2004)].

Ихтиологи, изучавшие стерлядь р. Северная Двина в советский период [Остроумов, 1955 (Ostroumov, 1955); Кучина, 1963 (Kuchina, 1963); Галушина, 1968 (Galushina,

1968); Соловкина, 1971 (Solovkina, 1971)] приводили данные по ее биологии по выборкам, собранным в период ее нагула. Н.А. Остроумов [Остроумов, 1954 (Ostroumov, 1954)] в середине XX века писал, что места нереста стерляди в р. Северная Двина рыбакам неизвестны. Лишь в работе А.П. Новоселова [Новоселов, 2004 (Novoselov, 2004)] кратко дается описание соотношения в выборке количества рыб с разными стадиями зрелости гонад у стерляди без разбивки по полу в период ее преднерестовых миграций.

В настоящее время мониторинг в период нерестовых миграций северодвинской стерляди осуществляется сотрудниками Отдела Северный (СевПИИРО) Полярного филиала ФГБНУ “ВНИРО” в среднем течении р. Северная Двина в районе пос. Двинской Березник. Обобщение результатов ихтиологических исследований преднерестовых скоплений стерляди и являются целью данной работы.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор материала проводили в мае 2018–2020 гг. на участке русла в 307–310 км от устья Северной Двины в границах Виноградского района Архангельской области (рис. 1).

Отлов стерляди проводили на заливаемой в период весеннего паводка низкой пойме реки с помощью стационарных самодельных ловушек (“кутков”, “ванд”), установленных вдоль правого берега на грузах, входным отверстием вниз по течению. Ловушки проверяли ежедневно раз в сутки. Глубины в местах постановки ловушек составляли 2–4 м, средняя скорость течения за весь период наблюдений

0.6 м/с. Грунты в местах постановки ловушек были представлены известковыми мергелями, частично осушаемыми в меженный период.

Долю стерляди по встречаемости (N) и массе (B) в уловах ловушек вычисляли как отношение количества пойманной стерляди в экземплярах и килограммах к общему улову всех рыб за съемку (в экз. и кг) выраженную в %. Стандартизированный средний улов на усилие пересчитывали с показателей фактического улова стерляди в экз. и кг за сутки экспозиции ловушек.