

УДК 574.5

ОЦЕНКА ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В КУЙБЫШЕВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ В ЛЕТНИЕ СЕЗОНЫ С РАЗЛИЧНЫМИ ПОГОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ

© 2024 А.В. Рахуба

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия

Статья поступила в редакцию 17.09.2024

В статье представлены результаты исследования гидрохимического режима и характеристик развития фитопланктона в морфометрически разных районах Куйбышевского водохранилища. По ряду гидрохимических и трофических показателей проведен сравнительный анализ экологического состояния Куйбышевского водохранилища в летние периоды холодного маловодного 2015 г. и жаркого многоводного 2016 г. Показано, что формирование полей фитопланктона водохранилища зависит не столько от водности года, сколько от прогрева водной толщи водохранилища. В 2016 г. осредненные по всей акватории значения X_l , интенсивности фотосинтеза и концентрации органического вещества были в 2-3,8 раза выше, чем в 2015 г. В жаркие периоды наибольшие значения биомассы фитопланктона, интегральной первичной продукции и интегральной деструкции прослеживаются в нижнем и центральном районах водохранилища, тогда как верхняя часть характеризуется более низкими значениями фотосинтеза. С повышением температуры воды средние значения коэффициентов пространственной неоднородности (C_v) практически по всем гидрохимическим показателям в Куйбышевском водохранилище возрастают с 1,4-3,2 до 25-84 %. Результаты наблюдений показывают, что в летний сезон суточная продукция планктона Куйбышевского водохранилища в два раза превосходит суточное поступление аллохтонного органического вещества с водами суммарного притока. В Куйбышевском водохранилище, принимающем приток аллохтонного вещества, интенсивность деструкционных процессов выше, чем продукционных, что указывает на хорошую самоочищающуюся способность волжских вод.

Ключевые слова: фитопланктон, хлорофилл «а», первичная продукция, деструкция органического вещества, эвтрофирование, абиотические факторы, гидрохимический режим, водные массы, биогенные элементы, Куйбышевское водохранилище.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-5-122-131

EDN: XDSNIW

Работа выполнена при финансовом обеспечении за счет средств Федерального бюджета в рамках темы № 1021060107175-5-1.6.19 (ИЭВБ РАН - филиал СамНЦ РАН).

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с прошлого века антропогенное эвтрофирование водных экосистем остается одной из актуальных проблем охраны водных ресурсов. Особое место отводится биогенным и органическим веществам, поступающим в водоемы из различных источников. Накопление соединений биогенных элементов и органического вещества приводит к ухудшению качества воды и опасности возникновения токсических эффектов вследствие массового развития синезеленых водорослей. Известно, что фитопланктон быстро реагирует на изменения экологических условий, его продукция определяет трофический уровень водоемов, а состав и обилие характеризуют санитарное состояние [16]. Вместе с тем первичная

продукция планктона наряду с поступающим в водоем аллохтонным органическим веществом составляет материальную и энергетическую основу всех последующих этапов продукционного процесса в водоеме [5]. При функционировании сообществ гидробионтов формируется баланс органических веществ, с которым тесно связаны балансы биогенных и других элементов [1]. Соответственно, экологическое состояние водоемов зависит как от жизнедеятельности гидробиоценозов, так и от комплекса физических и химических антропогенных факторов. При этом химико-биологические процессы в водных экосистемах настолько тесно взаимосвязаны, что иногда трудно установить четкую границу между ними [7, 13, 14, 24].

Исследования гидрохимического режима и развития фитопланктона в каскаде Волжских водохранилищ проводятся с середины прошлого века [4, 8, 10, 11, 15, 26]. Наблюдения за первичной продукцией планктона Куйбышевского

*Рахуба Александр Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией мониторинга водных объектов.
E-mail: rahavum@mail.ru*

водохранилища были начаты в 1957 году [17, 25] и в дальнейшем проводились в годы с различным режимом регулирования. Последние регулярные ежегодные наблюдения были осуществлены в 2009-2011 гг. [15].

Цель данной работы – оценка пространственного распределения гидрохимических показателей и продукционных характеристик планктона Куйбышевского водохранилища в летние периоды 2015 г. и 2016 г. при различных гидрологических и погодных условиях, а так же оценка вклада первичной продукции в общий фонд органического вещества.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Куйбышевское водохранилище расположено в центральной части Среднего Поволжья (56°09′–53°16′ с.ш., 47°28′–52°17′ в.д.), является самым крупным в Волжском каскаде. В период перекрытия Волги и заполнения водохранилища (1955-1957 гг.) на всем его протяжении был образован ряд чередующихся плесовых расширений и резких сужений акватории. Два верхних плеса представляют собой преимущественно участки переменного подпора руслового типа, расположенные вдоль затопленных Волжской и Камской водных артерий. Остальные плесы в центральной и нижней частях Куйбышевского

водохранилища сформированы в виде обширных озеровидных расширений (рис. 1). Морфометрические характеристики плесов водохранилища представлены в таблице 1.

Материал собран в период летних экспедиционных работ в Куйбышевском водохранилище в 2015 г. и 2016 г. Наблюдения проводились на научно-исследовательском судне «Биолог» ИЭВБ РАН с 20 августа по 9 сентября 2015 года и с 7 по 31 июля 2016 года по 25 станциям. Исследованиями была охвачена акватория восьми плесов Куйбышевского водохранилища: Волжского, Камского, Волжско-Камского, Тетюшского, Ундоровского, Ульяновского, Новодевичьего и Приплотинного (рис. 1).

Пробы воды отбирались батометром ГР-18. Гидрохимические показатели и содержание фотосинтетических пигментов определяли по действующим нормативным документам и методикам [23], интенсивность фотосинтеза (A) и деструкцию (R) – кислородным скляночным методом [9]. Показатели рН и удельную электропроводность измеряли датчиками (*in situ*) с использованием зондирующей системы DS-5X. Интегральную первичную продукцию (ΣA) вычисляли путем умножения A на прозрачность воды, а интегральную деструкцию (ΣR) – умножением R на средние глубины плесов водохранилища [10]. При оценке содержания органи-

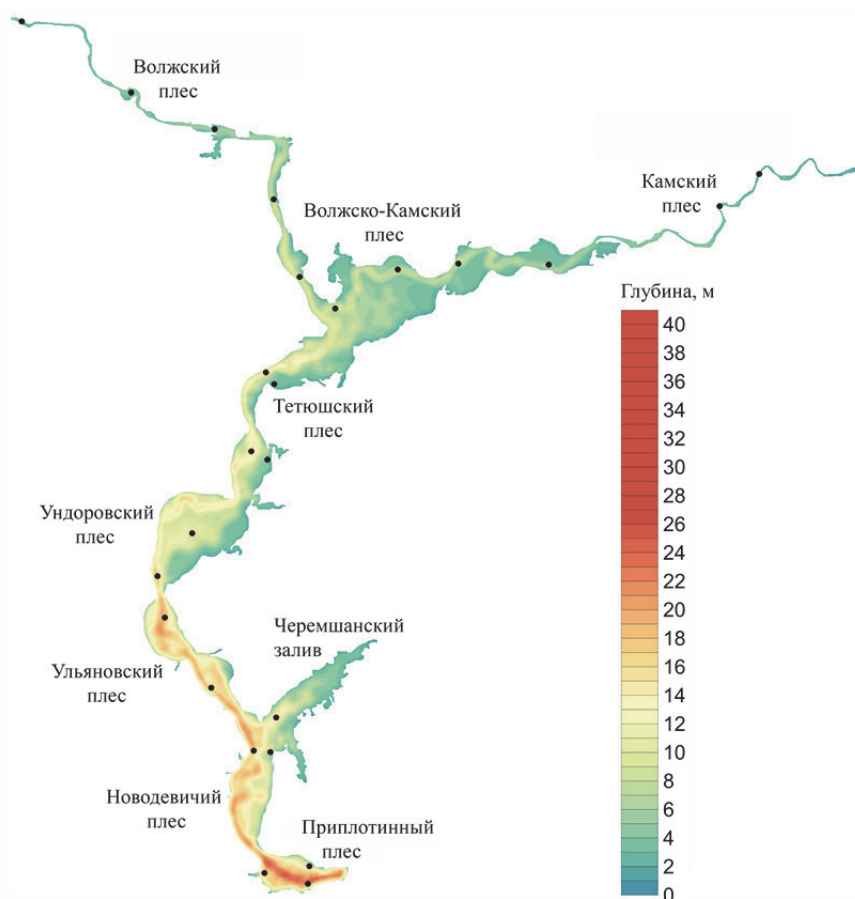


Рис. 1. Карта-схема расположения станций наблюдений в Куйбышевском водохранилище

Таблица 1. Основные характеристики плесов Куйбышевского водохранилища

Плесы	Объем, км ³	Площадь, км ²	Длина, км	Глубина, м		Период условного водообмена в летнюю межень, сут
				Средняя	Максимальная	
Волжский	4,6	725	188	6,4	21	33
Камский	3,8	824	184	4,6	20	17
Волжско-Камский	5,3	966	45	5,5	26	14
Тетюшский	6,4	877	79	7,3	32	17
Ундоровский	6,3	812	48	7,7	31	17
Ульяновский	7,7	564	64	13,6	35	20
Новодевичий	9,5	1019	95	9,3	37	25
Приплотинный	6,0	417	34	14,5	42	17

ческого вещества (ОВ) в воде для перехода от единиц кислорода к единицам углерода использовали коэффициент пересчета 0,33 [1].

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОДОХРАНИЛИЩА

Одной из характерных особенностей Куйбышевского водохранилища является сезонное, недельное и суточное регулирование стока. В весенний период водохранилище наполняется до нормального подпорного уровня, а в остальное время года водные запасы сбрасываются Жигулевским гидроузлом [2]. Большую часть притока Куйбышевского водохранилища составляют сбросы из Чебоксарского и Нижнекамского водохранилищ, на которые приходится соответственно 41% и 42% годового стока, на воды

реки Вятки – 12% и на все остальные малые реки водохранилища – 5% [12]. Весной доля боковой приточности возрастает до 25% для р. Вятка и до 8% для всех малых рек, а в летне-осеннюю и зимнюю межень уменьшается соответственно до 7% и 3%.

Водность в 2016 г. была существенно выше водности 2015 г. и формировалась за счет расходов воды весеннего половодья. Среднегодовой расход воды в 2015 г. составил 6236 м³/с, в 2016 г. – 8320 м³/с, тогда как среднемноголетний расход воды за все время эксплуатации Куйбышевского водохранилища – 7674 м³/с. На момент проведения экспедиционных съемок в летнюю межень средние расходы воды сильно не различались и составляли 5674 м³/с в 2015 г. и 5116 м³/с в 2016 г. (рис. 2).

В многоводный и маловодный годы гидрохимический режим водохранилища различается.

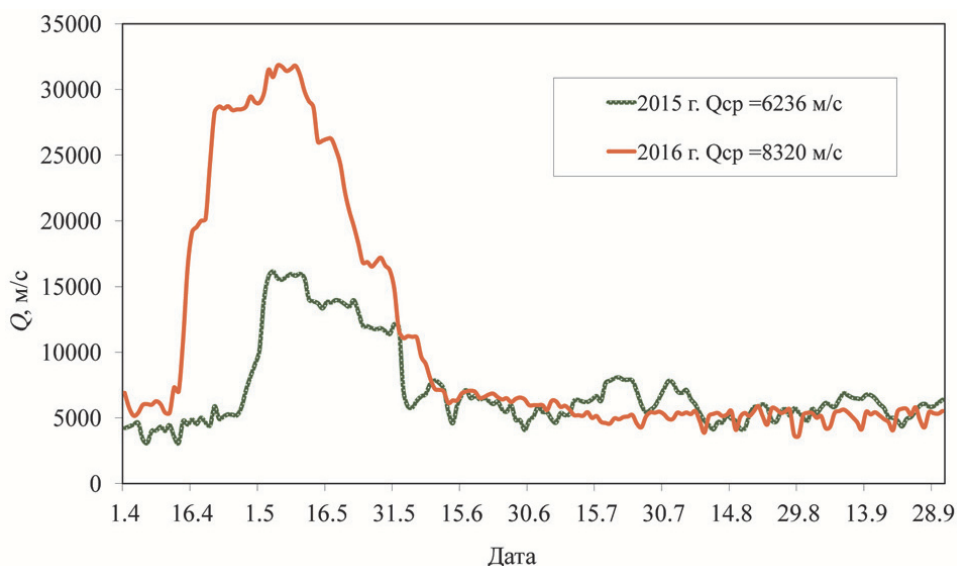


Рис. 2. Гидрографы Куйбышевского водохранилища 2015 г. и 2016 г.

Распределение по длине Куйбышевского водохранилища удельной электропроводности воды (УЭП), характеризующей общую минерализацию воды, зависит как от интенсивности водообмена в гидрологические фазы водности, так и от минерализации вод притока. Весной минерализация основных водных масс Волги, Камы и Вятки уменьшается и зависит от величины объема половодья (водности года). Протяженность и большой объем водохранилища не способствуют быстрой смене зимней и весенней водных масс, в результате чего пространственное распределение УЭП в летнюю межень становится неоднородным. Наблюдения показывают, что среднее значение УЭП в 2015 г. было выше, чем в 2016 г. на 52 мкСм/см, поскольку в маловодный 2015 г. в весеннюю фазу водности период водообмена водохранилища составил 71 сутки, а в многоводный 2016 г. – 37 суток. При этом в 2016 г. из-за обильного половодья наблюдалась более выраженная горизонтальная неоднородность, и по длине водохранилища в середине лета прослеживалось снижение УЭП от верхних плесов к нижним (табл. 2). Максимальная неоднородность отмечалась в Тетюшском плесе, где смешиваются Волжские и Камские водные массы.

В период проведения экспедиционных работ (июль – сентябрь) температура воздуха в 2016 г. была в среднем на 5-7 °С выше, чем в 2015 г. (рис. 3), а температура воды – на 5,1-5,9 °С. Это отразилось на пространственном распределении фитопланктона, первичной продукции, растворенного в воде кислорода, биогенных (БВ) и органических (ОВ) веществ (табл. 2 и табл. 3).

Экспедиционные наблюдения показывают, что для летней межени в разные годы значе-

ния концентраций гидрохимических показателей могут различаться в несколько раз. В 2016 г. средние значения концентрации ОВ были в 1,5-2 раза выше, а содержание фосфатов в 2 раза ниже, чем 2015 г. Это связано с интенсивным цветением фитопланктона в более прогретой воде водохранилища в 2016 г. Характерно, что по длине водохранилища в 2016 г. концентрация PO_4 от верховьев к плотине снижалась в 9 раз, а величина ПО увеличивалась в 1,8 раза. Распределение цветности не имело явно выраженного тренда. Наибольшие концентрации NO_3 (2,62 г/м³) наблюдались в зоне смешения вод Волги и Камы Тетюшского плеса, наименьшие (0,71 г/м³) – в Волжско-Камском плесе. В нижней части водохранилища, наряду с изменениями ОВ и PO_4 , прослеживалось повышение O_2 в поверхностном слое водной толщи до 11,0 г/м³ и снижение в придонном слое до 4,33 г/м³. При этом разница температуры воды на период съемки между верхним и нижним участками водохранилища составляла в среднем около 2,5 °С (табл. 2).

Следует отметить, что практически по всем гидрохимическим показателям пространственная неоднородность вод Куйбышевского водохранилища в 2016 г. была выше, чем в 2015 г. Средние значения коэффициентов пространственной вариации (Сv) колебались от 1,4 до 25,4 % в 2015 г. и от 3,2 до 84,7 % в 2016 г.

Таким образом, в условиях слабого водообмена в Куйбышевском водохранилище перво-степенная роль в распределении гидрохимических показателей вдоль оси водохранилища принадлежит процессам, с одной стороны, связанным с замедленным продвижением и смешением водных масс, а с другой – с повышени-

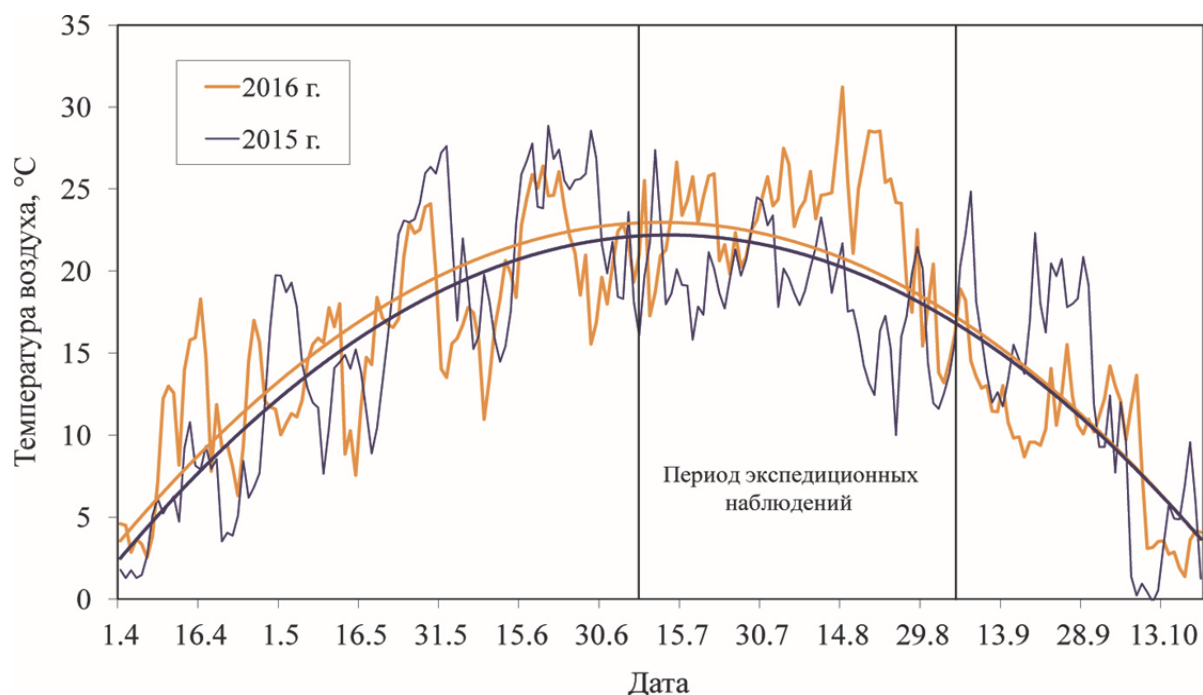


Рис. 3. Сезонный ход температуры воздуха в 2015 г. и 2016 г.

Таблица 2. Средние по плесам Куйбышевского водохранилища гидрохимические показатели воды

Плесы	Глубина, м	Прозрачность, м	Темп-ра, °С	О ₂ , г/м ³		рН	УЭП, мкСм/см	Цветность, °Рт	ПО, гО ₂ /м ³	РО ₄ , г/м ³	NO ₃ , гN/м ³
				поверхность	дно						
2015 год											
Волжский	6,4	1,97	18,53	8,22	7,66	8,33	364	30,0	9,68	0,087	1,30
Камский	4,6	1,20	18,90	8,06	7,14	7,90	304	31,8	8,70	0,034	1,03
Волжско-Камский	5,5	1,67	18,13	8,06	7,73	8,13	331	29,4	8,89	0,051	1,08
Тетюшский	7,3	1,63	17,07	8,25	7,86	8,17	345	33,7	8,37	0,059	0,93
Ундоровский	7,7	1,55	17,05	8,29	7,73	8,10	366	33,5	9,22	0,048	1,18
Ульяновский	13,6	2,00	17,60	7,80	7,40	8,10	370	32,2	8,80	0,052	1,06
Новодевичий	9,3	2,60	18,27	8,13	7,66	8,13	380	34,2	9,07	0,059	1,13
Приплотинный	14,5	2,30	19,00	7,50	7,28	8,15	379	34,8	8,54	0,066	0,98
Сv%		22,4	4,0	3,1	3,1	1,4	7,0	5,7	4,4	25,4	10,1
2016 год											
Волжский	6,4	2,1	22,15	7,13	6,75	8,02	334	66,7	11,53	0,078	0,98
Камский	4,6	1,2	23,43	8,40	7,32	8,14	370	53,8	9,42	0,023	1,27
Волжско-Камский	5,5	1,1	23,50	8,26	6,69	8,10	370	52,6	8,30	0,017	0,71
Тетюшский	7,3	1,3	23,23	7,93	7,26	8,17	313	54,6	10,00	0,035	2,62
Ундоровский	7,7	1,2	23,75	9,81	5,11	8,58	292	46,3	13,06	0,021	1,76
Ульяновский	13,6	1,3	23,45	10,05	6,55	8,79	244	67,0	12,40	0,011	1,92
Новодевичий	9,3	1,2	24,30	11,00	6,43	9,08	240	51,8	14,61	0,010	1,80
Приплотинный	14,5	1,4	24,90	10,23	4,33	8,58	256	69,9	11,75	0,009	1,49
Сv%		22,1	3,2	13,8	15,5	4,3	16,4	14,1	16,9	84,7	35,6

ем температуры воды и активизации процессов биохимической трансформации, более интенсивно протекающими в нижних плесах в период активного цветения фитопланктона. Следует отметить, что увеличение биомассы фитопланктона вызывает снижение в воде, прежде всего, концентрации минерального фосфора, и потом уже его недостаток начинает лимитировать рост водорослей. Концентрация минерального азота в водохранилище в вегетационный период остается на достаточно высоком уровне и не может выступать сдерживающим фактором развития фитопланктона.

ФИТОПЛАНКТОН, ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ И ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Изучение характеристик летнего планктона представляет значительный интерес, поскольку связано с проявлениями негативных эффектов антропогенного эвтрофирования водохранилища. Общепринято для характери-

ки развития и функционирования фитопланктона использовать основной фотосинтетический пигмент – хлорофилл «а» (Хл а), отражающий трофическое состояние водоемов [3, 5, 6, 18-22]. Содержание Хл а, биомасса и интенсивность фотосинтеза (А) фитопланктона имеют тесную связь, которая прослеживается в пределах акватории всего водохранилища при разном составе фитопланктона. По данным экспедиционных наблюдений на Куйбышевском водохранилище в 2015 г. и 2016 г. получена достоверная корреляция между содержанием Хл а и биомассой фитопланктона (рис. 4), а также содержанием Хл а и интенсивностью фотосинтеза (рис. 5). Это делает хлорофилл основным маркером трофического статуса и расчета первичной продукции в Куйбышевском водохранилище.

Влияние абиотических факторов на развитие и первичное продуцирование фитопланктона определяется в основном термическими и гидродинамическими условиями, содержанием биогенных элементов и поступлением солнечной энергии [9, 22]. В период летней межени в

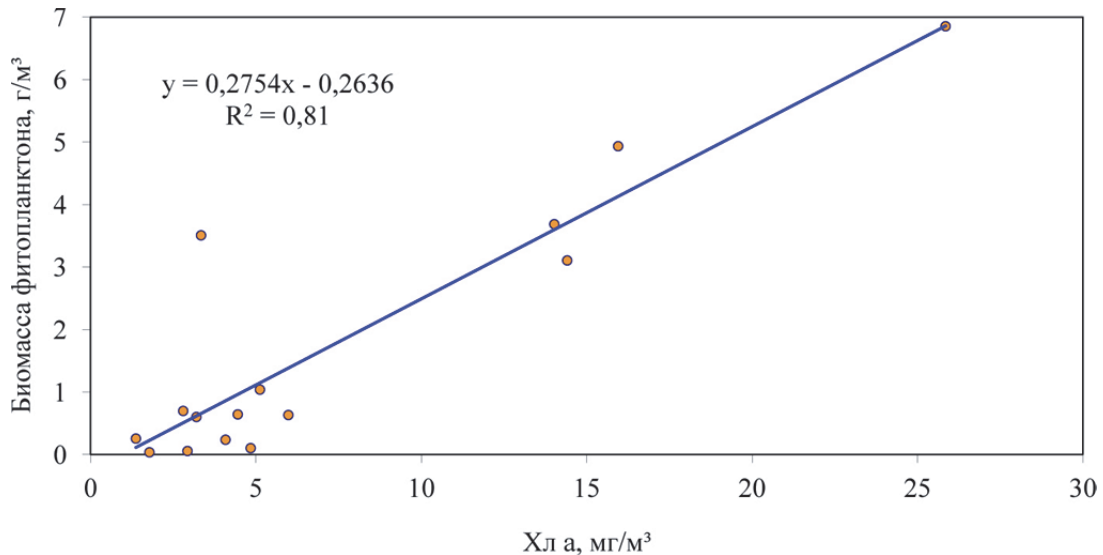


Рис. 4. Соотношение между хлорофиллом «А» и биомассой фитопланктона в Куйбышевском водохранилище

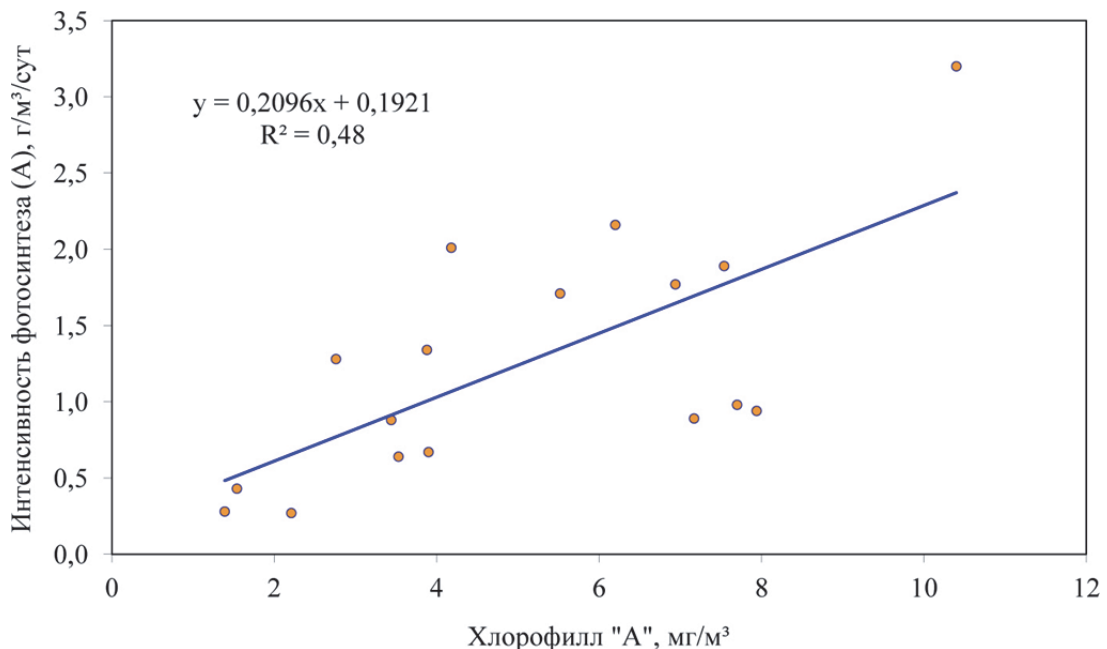


Рис. 5. Соотношение между Хл а и интенсивностью фотосинтеза фитопланктона в Куйбышевском водохранилище

Куйбышевском водохранилище биомасса фитопланктона преимущественно представлена синезелеными водорослями, темп роста которых сдерживается усилением динамики течений и слабым прогревом водной толщи. Анализ абiotических характеристик показывает, что средний летний объем стока в маловодный 2015 г. и многоводный 2016 г. был примерно одинаковый (рис. 2) и не оказывал влияния на различия в значениях продукции фитопланктона в летнюю фазу водности этих лет. В основном, сниженный уровень развития фитопланктона в 2015 г. по сравнению с 2016 г. был обусловлен различиями по температуре воды и в меньшей степени остальными факторами (табл. 2 и табл. 3). На-

блюдения показали, что в 2016 г. осредненные по всей акватории значения Хл а и фотосинтеза А были в 3,6-3,8 раза выше, чем в 2015 г.

Показатели, характеризующие динамику развития фитопланктона в Куйбышевском водохранилище, представлены значениями, которые наблюдаются в слабоэвтрофных и эвтрофных водах [5, 6]. На фоне хорошего прогрева водохранилища в 2016 г. средние значения за периоды экспедиционных наблюдений Хл а составили 3,44-37,31 мг/м³, в 2015 г. – 3,32-9,23 мг/м³; соответственно интенсивности фотосинтеза – 1,54-6,52 г/м³ и 0,84-2,01 г/м³; деструкции – 0,66-2,80 г/м³ и 0,26-0,80 г/м³; интегральной первичной продукции – 2,62-6,84 гО₂/м²·сут и 0,75-3,93 гО₂/

м²·сут и интегральной деструкции – 4,21-28,95 гО₂/м²·сут и 2,12-6,16 гО₂/м²·сут. Средние значения коэффициентов пространственной вариации трофических показателей колебались от 4,0 до 40,6 % в 2015 г. и от 3,2 до 70,7 % в 2016 (табл. 3).

Таким образом, интенсивное развитие и наиболее выраженная пространственная неоднородность фитопланктона отмечается в 2016 г. В каждом отдельном плесе она имеет свои особенности в мелководных и глубоководных участках и связана с величиной и направленностью стоковых и дрейфовых течений. В жаркий летний сезон 2016 г. с севера на юг по длине водохранилища прослеживается увеличение значений всех показателей фитопланктона, тогда как в холодный 2015 г. такой закономерности не наблюдается. Наиболее интенсивным фотосинтезом характеризовались плесы водохранилища – Волжско-Камский, Ульяновский и Новодевичий, в меньшей степени – Волжский, Камский и Тетюшский. Самая низкая фотосинтетическая активность отмечена в Волжском плесе. Исключение представляет Камский плес, где показате-

ли обилия фитопланктона выше за счет влияния вод р. Вятки и других притоков.

Как уже было отмечено, более 80% притока Куйбышевского водохранилища приходится на сток из водохранилищ Волжской и Камской веток, с которым поступает аллохтонное ОВ. По данным проведенных наблюдений в июле 2016 г. средняя величина первичной продукции по водохранилищу составила 5,1 гО₂/м²·сут или в пересчете на содержание органического углерода 1,62 гС/м²·сут, что соответствует прибавке 10100 тС/сут лабильного автохтонного ОВ. Поступление ОВ с Волжским и Камским стоком в летнюю межень составляет 5314 тС/сут и его лабильной части – 1152 тС/сут. По отношению к общему суточному поступлению ОВ первичная продукция Куйбышевского водохранилища превосходит суммарное поступление ОВ из Чебоксарского, Нижнекамского водохранилищ и р. Вятки примерно в 2 раза и в 9 раз его лабильную часть. В результате, можно видеть, что первичная продукция вносит наибольший вклад в формирование фонда ОВ Куйбышевского водохранилища.

Таблица 3. Трофические характеристики Куйбышевского водохранилища

Плесы	Глубина, м	Прозрачность, м	Темп-ра, °С	Хл-л "а", мг/м ³	A, г/м ³	R, г/м ³	ΣA, гО ₂ /м ² ·сут	ΣR, гО ₂ /м ² ·сут	ΣA/ΣR
2015 г.									
Волжский	6,4	1,97	18,53	9,23	1,98	0,77	3,93	4,95	0,75
Камский	4,6	1,20	18,90	4,18	2,01	0,46	2,41	2,12	1,14
Волжско-Камский	5,5	1,67	18,13	5,21	1,51	0,66	2,75	3,61	0,82
Тетюшский	7,3	1,63	17,07	2,35	0,48	0,30	0,75	2,17	0,45
Ундоровский	7,7	1,55	17,05	6,94	1,09	0,80	1,84	6,16	0,54
Ульяновский	13,6	2,00	17,60	4,74	0,69	0,26	1,39	3,54	0,50
Новодевичий	9,3	2,60	18,27	6,13	0,84	0,59	2,16	5,46	0,40
Приплотинный	14,5	2,30	19,00	3,32	1,31	0,32	3,02	4,64	0,65
Сv%		22,4	4,0	38,6	43,3	38,9	40,6	33,9	34,5
2016 г.									
Волжский	6,4	2,1	22,15	3,44	1,54	0,66	3,16	4,21	0,83
Камский	4,6	1,2	23,43	14,08	4,95	1,40	5,01	6,43	0,92
Волжско-Камский	5,5	1,1	23,50	10,83	6,12	0,87	6,31	4,79	1,35
Тетюшский	7,3	1,3	23,23	15,37	4,18	0,95	3,86	6,95	0,70
Ундоровский	7,7	1,2	23,75	34,75	5,19	1,54	6,08	11,86	0,51
Ульяновский	13,6	1,3	23,45	28,18	5,49	2,09	6,84	28,36	0,75
Новодевичий	9,3	1,2	24,30	37,31	6,52	2,80	7,06	26,07	0,32
Приплотинный	14,5	1,4	24,90	16,24	4,89	2,00	2,62	28,95	0,10
Сv%		22,1	3,2	56,2	38,6	44,2	31,5	70,7	52,4

Важным критерием состояния экосистемы водохранилища является соотношение $\Sigma A/\Sigma R$, характеризующее баланс органического вещества в водной толще. Эта величина по отдельным участкам колеблется от 0,1 до 1,35 и в среднем по всей акватории Куйбышевского водохранилища меньше единицы (табл. 3). В глубоководных плесах баланс $\Sigma A/\Sigma R < 1$ и показывает гетеротрофную направленность функционирования планктонного сообщества. В мелководных Камском и Волжско-Камском плесах баланс $\Sigma A/\Sigma R > 1$ и равен 1,14 и 1,35, что указывает на автотрофный характер внутриводоемных процессов.

ВЫВОДЫ

Исследования, выполненные в 2015 г. и 2016 г. показали, что в акватории Куйбышевского водохранилища формируются районы с различной гидрохимической неоднородностью и первичной продуктивностью. По ряду гидрохимических показателей пространственная неоднородность вод водохранилища в 2016 г. была существенно выше, чем в 2015 г. Для одного и того же периода летней межени, несмотря на различия в объеме годового стока, низкие значения биомассы фитопланктона и первичной продукции в маловодный 2015 год, прежде всего, являются результатом более слабого прогрева воды в сравнении с многоводным 2016 годом. Главным образом, интенсивность развития фитопланктона в период открытой воды зависит от температуры воды и не столько от водности, сколько от распределения стока внутри года. В период «цветения» воды в 2016 году наибольшие значения биомассы и первичной продукции фитопланктона наблюдались в нижнем и центральном районах водохранилища, тогда как верхняя часть характеризовалась более низкими значениями фотосинтеза.

По сравнению с аллохтонным ОВ первичная продукция Куйбышевского водохранилища вносит наибольший вклад в формирование общего фонда ОВ в Куйбышевском водохранилище. В летний период суточная продукция фитопланктона водохранилища превосходит суммарное суточное поступление ОВ из Чебоксарского, Нижнекамского водохранилищ и р. Вятки примерно в 2 раза. Отрицательная направленность баланса органического вещества ($\Sigma A/\Sigma R < 1$) в летний период показывает гетеротрофную направленность функционирования планктонного сообщества и свидетельствует о хорошей самоочищающей способности вод Куйбышевского водохранилища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М. Продукционная гидробиология. СПб.: Наука, 2013. 342 с.
2. Боровкова Т.Н., Никулин П.И., Широков В.М. Куйбышевское водохранилище. Куйбышев: Кн. Изд-во, 1962. 89 с.
3. Бульон В.В. Диагностика биологической продуктивности озерных экосистем // Водное хозяйство России, 2019. № 3. С. 110-126.
4. Буторин Н.В. Гидрологические процессы и динамика водных масс в водохранилищах Волжского каскада. Л.: Наука, 1969. 323 с.
5. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР, 1960. 329 с.
6. Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.
7. Кондратьев С.А., Шмакова М.В., Маркова Е.Г., Лозовик П.А., Брюханов А.Ю., Чичкова Е.Ф. Биогенная нагрузка на Онежское озеро от рассеянных источников по результатам математического моделирования // Известия Русского географического общества. 2016. Т. 148. № 5. С. 53-64.
8. Куйбышевское водохранилище (научно-информационный справочник) / Отв. ред. Г.С. Розенберг, Л.А. Выхристюк. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2008. 123 с.
9. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
10. Минеева Н.М. Первичная продукция планктона в Водохранилищах Волги. Ярославль: Принтхаус, 2009. 279 с.
11. Минеева Н.М. Содержание фотосинтетических пигментов в водохранилищах Верхней Волги (2005–2016 гг.) // Биология внутренних вод. 2019. № 2. С. 52–61.
12. Научно-прикладной справочник: Многолетние характеристики притока воды в крупнейшие водохранилища РФ [Электронный ресурс] / Коллектив авторов под редакцией Георгиевского В.Ю. Москва: ООО «РПЦ Офорт», 2017. 132 с.
13. Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Пресноводные экосистемы в импактных районах России. Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2006. 275 с.
14. Никаноров А.М., Хоружая Т.А. Роль биотической и абиотической компонент водной экосистемы в формировании экологического неблагополучия Цимлянского и Маньчжунского водохранилищ // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 5. С. 544-554.
15. Номоконова В.И., Паутова В.Н. Первичная продукция фитопланктона в Куйбышевском и Саратовском водохранилищах в летние сезоны 2009–2011 гг. // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15. № 3. С. 185–193.
16. Приймаченко А.Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ. Киев: Наукова думка, 1981. 278 с.
17. Пырина И.Л. Первичная продукция фитопланктона в Ивановском, Рыбинском и Куйбышевском водохранилищах в зависимости от некоторых факторов // Продуцирование и круговорот органического вещества во внутренних водоемах: Тр. ИБВВ АН СССР. М.-Л.: Наука, 1966. Вып. 13(16). С. 249-269.
18. Рахуба А.В. Имитационное моделирование роста биомассы фитопланктона в Куйбышевском водохранилище // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. № 1. С. 76-87.
19. Рахуба А.В., Тихонова Л.Г. Оценка пространствен-

- но-временного распределения трофических характеристик Куйбышевского водохранилища // Известия Самарского научного центра РАН, 2016. Т. 18. № 5(2). С. 349-355.
20. Рахуба А.В. Оценка влияния гидродинамического режима на развитие фитопланктона и качество воды Куйбышевского водохранилища // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2020. – Т. 162, кн. 3. – С. 430–444.
21. Рахуба А.В. Пространственно-временное моделирование динамики развития фитопланктона в экосистеме Куйбышевского водохранилища // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2023, № 4, С. 140-149.
22. Рахуба А.В. Моделирование цветения воды в Куйбышевском водохранилище в годы с различным режимом регулирования стока // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 2(65). С. 92–104.
23. Руководство по химическому анализу морских и пресноводных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
24. Румянцев В.А., Кондратьев С.А., Басова С.Л., Шмакова М.В., Журавкова О.Н., Савицкая Н.В. Чудско-Псковский озерный комплекс: мониторинг и моделирование фосфорного режима // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 6. С. 711-720.
25. Салманов М.А., Сорокин Ю.И. Первичная продукция Куйбышевского водохранилища // Изв. АН СССР. Сер. Биол, 1962. №4. С. 603-613.
26. Экология фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Л.: Наука, 1989. 304 с.

ASSESSMENT OF HYDROCHEMICAL REGIME AND PRODUCTION-DESTRUCTION PROCESSES IN THE KUIBYSHEV RESERVOIR DURING SUMMER SEASONS WITH DIFFERENT WEATHER CONDITIONS

© 2024 A.V. Rakhuba

Samara Federal Research Scientific Center RAS,
Institute of Ecology of Volga River Basin RAS, Togliatti, Russia

The article presents the results of a study of the hydrochemical regime and characteristics of phytoplankton development in morphometrically different areas of the Kuibyshev Reservoir. Based on a number of hydrochemical and trophic indicators, a comparative analysis of the ecological state of the Kuibyshev reservoir was carried out during the summer periods of cold, low-water 2015 and hot, high-water 2016. It was shown that the formation of phytoplankton fields in the reservoir depends not so much on the water content of the year, but on the heating of the water column of the reservoir. In 2016, the values of Chl a, intensity of photosynthesis and concentration of organic matter averaged over the entire water area were 2-3.8 times higher than in 2015. During hot periods, the highest values of phytoplankton biomass, integral primary production and integral destruction can be traced in the lower and central areas of the reservoir, while the upper part is characterized by lower photosynthesis values. With an increase in water temperature, the average values of spatial heterogeneity coefficients (Cv) for almost all hydrochemical indicators in the Kuibyshev reservoir increase from 1.4-3.2 to 25-84%. The observation results show that in the summer season the daily production of plankton in the Kuibyshev Reservoir is twice as high as the daily supply of allochthonous organic matter with the waters of the total inflow. In the Kuibyshev Reservoir, which receives an influx of allochthonous matter, the intensity of destruction processes is higher than production processes, which indicates a good self-purifying ability of the Volga waters.

Keywords: phytoplankton, chlorophyll "a", primary production, destruction of organic matter, eutrophication, abiotic factors, hydrochemical regime, water masses, nutrients, Kuibyshev Reservoir.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-5-122-131

EDN: XDSNIW

REFERENCES

1. Alimov A.F., Bogatov V.V., Golubkov S.M. *Produkcijonnaja gidrobiologija* [Production hydrobiology]. SPb.: Nauka, 2013. 342 p.
2. Borovkova T.N., Nikulin P.I., Shirokov V.M. *Kuibyshevskoe vodohranilishhe* [Kuibyshev reservoir]. Kujbyshev: Kn. Izd-vo, 1962. 89 p.
3. Bul'on V.V. *Diagnostika biologicheskoy produktivnosti ozernyh jekosistem* [Diagnostics of the biological productivity of lake ecosystems] // *Vodnoe hozjajstvo Rossii*, 2019. № 3. P. 110-126.
4. Butorin N.V. *Gidrologicheskie processy i dinamika vodnyh mass v vodohranilishhah Volzhskogo kaskada* [Hydrological processes and dynamics of water masses in the reservoirs of the Volga cascade]. L.: Nauka, 1969. 323 p.
5. Vinberg G.G. *Pervichnaja produkcija vodoemov* [Primary products of water bodies]. Minsk: Izd-vo AN BSSR, 1960. 329 p.
6. Kitaev S.P. *Jekologicheskie osnovy bioproduktivnosti ozer raznyh prirodnyh zon* [Ecological basis of bioproductivity of lakes of different natural zones]. M.: Nauka, 1984. 207 p.
7. Kondratiev S.A., Shmakova M.V., Markova E.G., Lozovik P.A., Bryukhanov A.Yu., Chichkova E.F. *Biogennaya nagruzka na Onezhskoe ozero ot rasseyannyh istochnikov po rezul'tatam matematicheskogo*

- modelirovaniya [Biogenic load on Lake Onega from scattered sources according to the results of mathematical modeling] // Proceedings of the Russian Geographical Society. 2016. Vol. 148. No. 5. pp. 53-64.
8. Kujbyshevskoe vodohranilishhe (nauchno-informacionnyj spravocnik) [Kuibyshev reservoir (scientific information guide)] / Otv. red. G.S. Rozenberg, L.A. Vyhrstjuk. Tol'jatti: IEVB RAN, 2008. 123 p.
 9. Metodika izuchenija biogeocinozov vnutrennih vodoemov [Methodology for the study of biogeocinosis of inland waters]. M.: Nauka, 1975. 240 p.
 10. Mineeva N.M. Pervichnaja produkcija planktona v Vodohranilishhah Volgi [Primary plankton production in the Volga Reservoirs]. Jaroslavl': Prinhaus, 2009. 279 p.
 11. Mineeva N.M. Soderzhanie fotosinteticheskikh pigmentov v vodohranilishhah Verhnej Volgi (2005–2016 gg.) [The content of photosynthetic pigments in the Upper Volga reservoirs (2005–2016)] // Biologija vnutrennih vod. 2019. № 2. P. 52–61.
 12. Nauchno-prikladnoj spravocnik: Mnogoletnie harakteristiki pritoka vody v krupnejshie vodohranilishha RF [Elektronnyj resurs] / Kollektiv avtorov pod redakciej Georgievskogo V.Ju. Moskva [Scientific-applied reference book: Long-term characteristics of water inflow into the largest reservoirs of the Russian Federation]: OOO «RPC Ofort», 2017. 132 p.
 13. Nikanorov A.M., Bryzgalo V.A. Presnovodnye jekosistemy v impactnyh rajonah Rossii. Rostov-na-Donu [Freshwater ecosystems in impact areas of Russia]: Izd-vo «NOK», 2006. 275 p.
 14. Nikanorov A.M., Horuzhaja T.A. Rol' bioticheskoj i abioticheskoj komponent vodnoj jekosistemy v formirovanii jekologicheskogo neblagopoluchija Cimljanskogo i Manychskih vodohranilishh [The role of the biotic and abiotic components of the aquatic ecosystem in the formation of the ecological disadvantage of the Tsimlyansk and Manych reservoirs] // Vodnye resursy. 2019. Vol. 46. № 5. P. 544-554.
 15. Nomokonova V.I., Pautova V.N. Pervichnaja produkcija fitoplanktona v Kujbyshevskom i Saratovskom vodohranilishhah v letnie sezony 2009–2011 gg. [Primary phytoplankton production in the Kuibyshev and Saratov reservoirs during the summer seasons of 2009–2011] // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN. 2013. Vol. 15. № 3. P. 185–193.
 16. Prijmachenko A.D. Fitoplankton i pervichnaja produkcija Dnepra i dneprovskih vodohranilishh [Phytoplankton and primary production of the Dnieper and Dnieper reservoirs]. Kiev: Naukova dumka, 1981. 278 p.
 17. Pyrina I.L. Pervichnaja produkcija fitoplanktona v Ivan'kovskom, Rybinskom i Kujbyshevskom vodohranilishhah v zavisimosti ot nekotoryh faktorov [Primary phytoplankton production in Ivankovsky, Rybinsk and Kuibyshev reservoirs depending on some factors] // Producirovanie ikrugovorot organicheskogo veshhestva vo vnutrennih vodoemah: Tr. IBVV AN SSSR. M.-L.: Nauka, 1966. Vol. 13(16). P. 249-269.
 18. Rakhuba A.V. Imitacionnoe modelirovanie rosta biomassy fitoplanktona v Kujbyshevskom vodohranilishhe. Vodnoe hozjajstvo Rossii: problemy, tehnologii, upravlenie [Simulation modeling of the growth of phytoplankton biomass in the Kuibyshev reservoir] // 2018. № 1. P. 76-87.
 19. Rakhuba A.V., Tihonova L.G. Ocenka prostranstvenno-vremennogo raspredelenija troficheskikh harakteristik Kujbyshevskogo vodohranilishha [Estimation of the spatio-temporal distribution of trophic characteristics of the Kuibyshev reservoir] // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN, 2016. Vol. 18. № 5(2). P. 349-355.
 20. Rakhuba A.V. Assessment of the influence exercised by the hydrodynamic regime on the phytoplankton development and the water quality of the Kuibyshev Reservoir. Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki, 2020, vol. 162, no. 3, pp. 430-444.
 21. Rakhuba A. V. Spatial-time Modelling of the Dynamics of Phytoplankton Development in the Ecosystem of the Kuibyshev Reservoir // Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografi a. Geoekologia, 2023, no. 4, pp. 140-149. (In Russ.)
 22. Rakhuba A.V. (2023). Modeling of water blooms in the Kuibyshev Reservoir in years with different flow regulation regime. Geographical Bulletin. No. 2(65). Pp. 92–104.
 23. Rukovodstvo po himicheskomu analizu morskikh i presnovodnyh vod pri jekologicheskom monitoringe rybohozjajstvennyh vodoemov i perspektivnyh dlja promysla rajonov Mirovogo okeana [Guidelines for the chemical analysis of marine and freshwater in the environmental monitoring of fisheries and promising areas of the oceans for fishing]. M.: Izd-vo VNIRO, 2003. 202 p.
 24. Rummyantsev B.A., Kondratiev S.A., Basova S.L., Shmakova M.V., Zhuravkova O.N., Savitskaya N.V. Chudsko-Pskovskij ozernyj kompleks: monitoring i modelirovanie fosfornogo rezhima [Chudsko-Pskov lake complex: monitoring and modeling of the phosphorus regime] // Water Resources. 2006. Vol. 33. No. 6. pp. 711-720.
 25. Salmanov M.A., Sorokin Ju.I. Pervichnaja produkcija Kujbyshevskogo vodohranilishha [Primary production of the Kuibyshev reservoir] // Izv. AN SSSR. Ser. Biol, 1962. №4. P. 603-613.
 26. Ekologija fitoplanktona Kujbyshevskogo vodohranilishha [Ecology of phytoplankton of the Kuibyshev reservoir]. L.: Nauka, 1989. 304 p.