

Геоэкологические проблемы и природопользование

УДК 556.552:597.552

Е.А. Зиновьев, С.А. Двинских, А.Б. Китаев

ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Дана характеристика современного состояния экосистемы верхней части (зона переменного подпора) Камского водохранилища. В основу исследования положены материалы экспедиционных исследований изучаемого участка водоема, выполненные авторами в 2000-2010 гг., а также результаты полевых гидрохимических исследований, проведенных в 2008-2010 гг. ФГУ «Камводэксплуатация». Рассмотрен гидродинамический и гидрохимический режим водохранилища, влияющие на состояние гидрофауны, бентофауны и ихтиофауны водоема. Гидродинамический режим охарактеризован через уровни воды в водоеме, показатели обмена вод, скорости проточных и ветровых течений, ледовые и термические явления. Показано, как развивается экосистема рассматриваемого участка Камского водохранилища под воздействием чередования речных и водохранилищных условий. Отмечено негативное воздействие сточных вод Соликамско-Березниковского промышленного комплекса, сбрасываемых в водоем, на состояние гидрофауны и ихтиофауны в зоне переменного подпора водохранилища. Представлен видовой состав рыб в верхней части водоема в различные периоды существования водохранилища (1950-1960 гг., 1961-1980 гг. и 1981-2000 гг.), показана тенденция его изменения. Показан видовой состав ихтиофауны в новом столетии (2000-2009 гг.). Отмечена адаптационная способность рыб к меняющимся экологическим условиям.

Ключевые слова: водохранилище, уровень воды, водообмен, скорости течения, термический режим, химический состав воды, гидрофауна, бентофауна, ихтиофауна.

В настоящее время для оценки экологического состояния Камского водохранилища наибольший интерес представляет район переменного подпора (верхняя часть водоема). Существование и развитие в нем экосистемы зависит в основном от гидродинамического и гидрохимического режимов. Гидродинамический режим водохранилищ определяется поступлением речных вод через начальный створ водоема и водохранилищных в результате его наполнения или сработки. Во многом определяющую роль в формировании гидрохимического режима верхней части Камского водохранилища играют сточные воды Соликамско-Березниковского промышленного комплекса, поступающие в водоем. В связи с этим целью настоящего исследования является оценка современного состояния экосистемы верхней части водоема.

Материалы и методы исследований

В основу исследований положены полевые материалы авторов по гидродинамическому, гидрохимическому и гидробиологическому водоемам за период 2000-2010 гг. К работе привлечены гидрохимические материалы ФГУ «Камводэксплуатации» (2008-2010 гг.). Все исследования выполнены по стандартным общепринятым методикам в аккредитованных лабораториях.

Объект исследования – участок Камского водохранилища, расположенный ниже Соликамско-Березниковского промышленного комплекса (рис. 1).

Изучаемый участок расположен на акватории Камского водохранилища, на расстоянии около 5 км ниже южной границы г. Березники в зоне переменного подпора. Глубины в русле при отметке НПУ достигают 10–12 м. Грунты дна песчаные. В зимний период участок обсыхает, лед лежит на дне.

Результаты и их обсуждение

Состояние водной экосистемы в значительной мере определяется ее гидрологическим режимом: уровнем, температурным и скоростным. Уровненный режим Камского водохранилища обусловлен характером регулирования Камской ГЭС в зависимости от водности года и режима работы гидроузла.

Во внутригодовом ходе **уровня** выделяются следующие основные фазы: весеннее наполнение; период летне-осенней стабилизации уровня; зимняя сработка. Для изучаемого участка характерно наличие значительного уклона водной поверхности. Это объясняется тем, что он находится в зоне переменного подпора.

В начале половодья обеспечивается весеннее наполнение Камского водохранилища до отметки 104,00 м; при этом среднесуточный расход воды через Камский гидроузел составляет не менее 1000 м³/с.

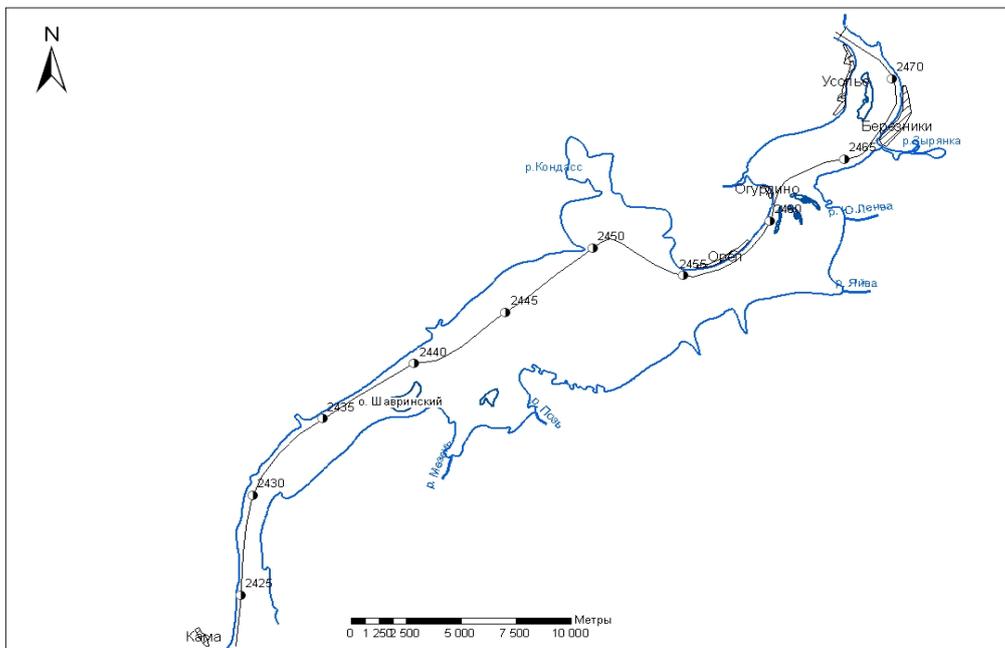


Рис. 1. Местоположение изучаемого участка

Весеннее половодье проходит в среднем с 18.04 по 21.06 (крайние даты 06.04–19.07). Средняя интенсивность повышения уровня в этот период составляет 11 см в сутки. Пик половодья наступает после прохождения ледохода. Наложение дождевого паводка на конец весеннего половодья и подпор от Камского водохранилища дает максимум в июне. Средняя величина высокого уровня половодья составила 109,24 м. Наивысший наблюденный уровень превышал НПУ и составил у г. Березники 22, 23.05.1992 г. 110,42 м. Заканчивается наполнение обычно в третьей декаде мая.

При оценке интенсивности **водообмена** изучаемого участка Камского водохранилища нами использован показатель, представляющий собой отношение стока с участка водоема к его объему:

$$D_{\text{уч}} = \frac{W_{\text{ст.уч}}}{V_{\text{уч}}}$$

В период наполнения водохранилищ весной интенсивность водообмена заметно выше, чем в зимнее и летнее время (до 15 раз). На водохранилище отмечается некоторое увеличение водообмена во время прохождения дождевых паводков в летне-осенний период. Соотношение летних и зимних величин характеризуется их примерным равенством.

В многолетнем аспекте обнаруживается зависимость внешнего водообмена от водоносности лет. Максимальные его величины отмечаются в многоводные годы, минимальные – в маловодные (рис.2). Так, в период весеннего наполнения водоема (май) водообмен на участке Березники – Быстрая в многоводном году составил 36,3, в то время как в маловодном году он был заметно ниже – 16,3 [6].

На изучаемом участке наиболее развиты **проточные и ветровые течения**. Наибольшие скорости течения наблюдаются на участке Тюлькино-Березники. В период весеннего наполнения водохранилища значения скоростей течения здесь приближаются к речным. Фактические скорости течения в мае изменялись от 1,2 до 1,88 м/с, а в конце июня составляли 0,40–1,00 м/с. В остальные летне-осенние месяцы после наполнения водохранилища до НПУ на этом участке формируются подпорные уровни, вы-

зывающие значительное уменьшение уклонов, а соответственно, и сокращение скоростей течения. Их величина находилась в пределах 0,1–0,4 м/с. В отдельные годы при прохождении больших дождевых паводков скорость течения в сентябре возрастала до 0,6–1,0 м/с (табл. 1). Но уже в октябре скорости течения в районе выклинивания подпора заметно убывают. Естественный приток по рекам Каме и Вишерере, а также положение подпорных уровней полностью определяют режим скоростей течения в верхнем районе Камского водохранилища. Таким образом, на участке переменного подпора преобладающим является проточное течение, которое идет транзитом от п. Керчевский до г. Березники. Оно характеризуется четко выраженной сезонной изменчивостью и постоянно по направлению [2].

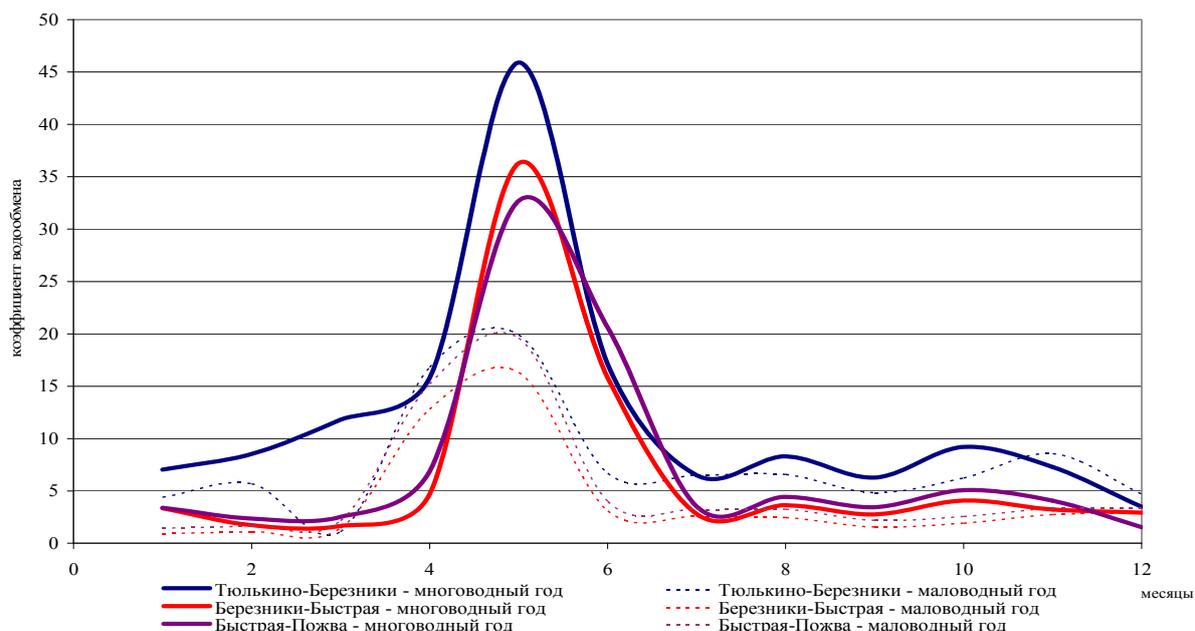


Рис. 2. Внутригодовой ход коэффициента внешнего водообмена морфометрических участков Камского водохранилища, рассчитанные по модели водоема-вытеснителя

Таблица 1

Скорости поверхностного течения в различные месяцы навигации на участке Камского водохранилища Тюлькино-Березники за многолетний период, м/с

Скорость	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
Средняя	1,43	0,77	0,32	0,26	0,44	0,42
Наибольшая	1,92	1,87	0,42	0,45	1,00	0,47
Наименьшая	0,57	0,39	0,19	0,07	0,18	0,29

Летом и зимой скорости проточного течения почти одинаковы, но заметно ниже, чем во время прохождения весеннего половодья: в средний по водности год в феврале в створе Тюлькино она составила всего 0,13 м/с.

Ледовый режим определяется **термическим режимом** водоема. Средние даты перехода температуры воды через 0,2 °С, 4 °С, 10 °С (характерные температурные величины) в весенний период приходятся на 1, 8 и 30 мая (табл. 2.22), хотя ранние и поздние даты могут отличаться на 15–20 дней. Наиболее высокая температура воды в навигационный период составляет по среднемноголетним данным 19,6 °С и наблюдалась в июле; максимальная же температура воды была отмечена также в июле и составила 21,2 °С. Колебания температуры воды в летний период (июнь–август) составили: 9,7 °С – 21,2 °С (экстремальные величины). По среднемноголетним данным амплитуда колебаний составляет 5,5 °С (14,1 °С – 19,6 °С). Даты осенних переводов температуры воды через 10 °С, 4 °С и 0,2 °С по многолетним данным приходятся на 18 сентября, 13 октября и 1 ноября. Ранние и поздние даты при этом могут отличаться на 20–30 дней.

Понижение температуры воды осенью начинается в сентябре. Переход температуры воды через +0,2 °С и появление первых осенних ледовых явлений наблюдается в среднем 31 ноября, крайние сроки – 13 октября и 22 ноября. По мере охлаждения воды на мелководных участках образуются широкие забереги, в отдельных местах в заливах и протоках – ледовые перемычки. Позже отмечается появление льда в виде больших плавучих полей. Средняя продолжительность осенних ледовых явлений составляет 4 дня, максимальная – 15 дней, минимальная – 0 дней.

Установление ледостава происходит в среднем 3 ноября, крайние сроки – 13 октября и 27 ноября. Наибольших значений толщина льда достигает в конце марта – первой декаде апреля. Максимальная толщина льда за первую декаду апреля варьирует в пределах от 0 см (наименьшая) до 67 см (наибольшая), среднее значение максимальной толщины льда составляет 52 см. Средняя продолжительность ледостава составляет 165 дней, максимальная – 181 день, минимальная – 136 дней.

Естественное разрушение ледяного покрова начинается с момента наступления положительных средних суточных температур воздуха, с появлением промоин, закраин. Ко времени вскрытия толщина льда на реке по сравнению с максимальной толщиной уменьшается на 20–30 %. Разрушение ледяного покрова начинается в среднем 4 апреля, крайние сроки – 3 марта и 20 апреля. Окончание устойчивого ледостава отмечается в среднем 14 апреля.

Химический состав Камского водохранилища в условиях современной нагрузки по фазам водного режима представлен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав исследуемого участка Камского водохранилища в условиях современной нагрузки по фазам водного режима, 2003–2005 гг.

Компоненты (мг/л)	Зимняя сработка			Весеннее наполнение			Летне-осенняя стабилизация уровня		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
М	160	480	400	150	160	130	160	560	220
HCO ₃ ⁻	120	120	110	54	55	52	69	69	69
SO ₄ ²⁻	16	37	35	7	8	7	11	11	15
Cl ⁻	32	170	130	4	42	27	14	69	68
Mg ²⁺	6	14	13	3	4	3	5	8	7
NO ₂ ⁻	0,00	0,05	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,04	0,03
NO ₃ ⁻	0,16	0,97	0,60	0,10	0,15	0,14	0,12	0,15	0,14
NH ₄ ⁺	0,32	1,50	1,00	0,22	0,55	0,44	0,20	0,24	0,22
Fe общ.	0,90	0,73	0,60	0,55	0,53	0,37	0,70	0,57	0,52
Cu	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003
O ₂	5,5	5,1	6,0	9,0	9,4	8,9	6,5	7,1	5,8
БПК ₅	1,6	1,8	1,6	1,6	1,8	1,4	1,6	1,4	1,9
ХПК	45	45	45	42	45	41	42	43	46

1. – п. Тюлькино, 2. – Ниже г. Березники, 3 – п. Пожва

Анализ табл. 2 показал:

- величина общей минерализации и главных ионов в исследуемой части водохранилища и во все фазы его водного режима находится в норме;
- в период зимней сработки водохранилища отмечается превышение ПДК в верхней части водохранилища по иону аммония в 2-3 раза; по длине водоема превышение предельно-допустимых концентраций наблюдается по общему железу (в 3-7 раз), меди (в 2-4 раза), марганцу (в 8-10 раз), цинку (в 1,5-2 раза), свинцу (в 1,5-2 раза), растворенному кислороду (до 1,8 раза), ХПК (в 3 раза), БПК₅ (в 1,5-2 раза);
- в период весеннего заполнения водохранилища в районе Соликамско-Березниковского промузла отмечается превышение ПДК по NH₄ в 1,5 раза; по водоему – превышение ПДК по: Fe_{общ.} в 3-5 раз, Cu – 3-4 раза, Mn – 5-6 раз, БПК₅ – 1,2-1,5 раза, ХПК – 2-3 раза;
- в летне-осенний период по водохранилищу наблюдается превышение ПДК по: Fe_{общ.} в 4-6 раз, Cu – 3-4 раза, Mn – 8-10 раз, Zn – 1,5-2 раза, БПК₅ – 1,2-1,5 раза, ХПК – 3 раза;

- превышение ПДК по железу (общему), марганцу, меди связано с природным гидрохимическим фоном;
- камское водохранилище (исследуемый участок) во все фазы водного режима подвержено сильнейшему техногенному воздействию за счет сбросов Соликамско-Березниковского промузла.

Начиная с 2008 г. ФГУ «Камводэксплуатация» проводят обследования верхней части Камского водохранилища в районе Соликамско-Березниковского промышленного комплекса. Материалы их исследований подтверждают отмеченные выше выводы (рис. 3). Имеются превышения ПДК по следующим компонентам: нефтепродуктам, БПК₅ и растворенному кислороду (в зимний период).

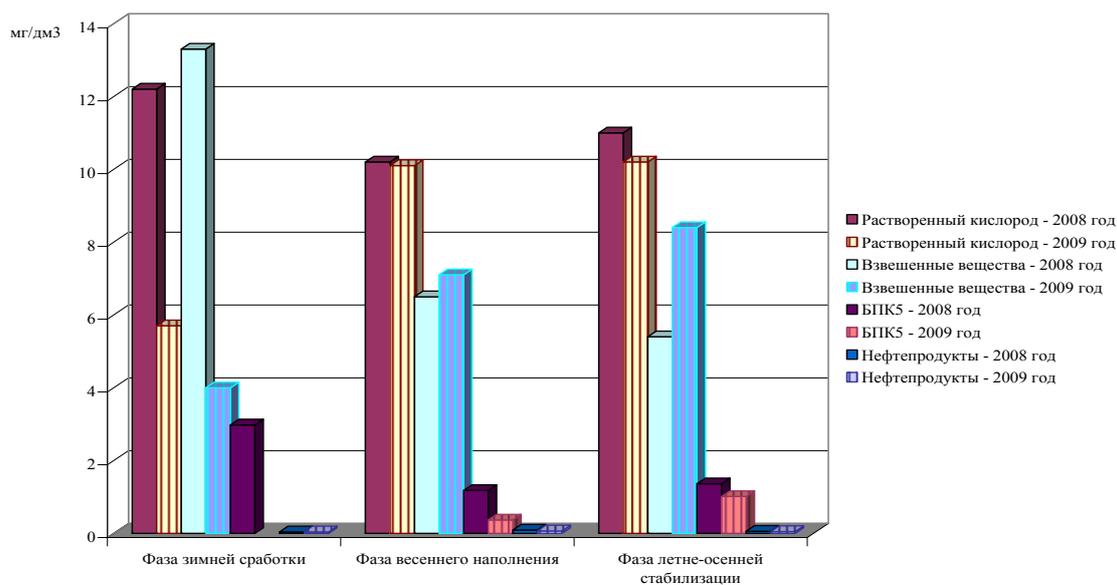


Рис. 3. Содержание некоторых компонентов химического состава воды Камского водохранилища в исследуемом створе

Гидрофауна водохранилища. Эпифитон (обрастания водорослей на макрофитах) – один из важных компонентов водных экосистем. В современных исследованиях эпифитона можно выделить несколько областей изучения. В литературе активно дискутируется вопрос о влиянии и роли макрофита-субстрата на рост и развитие перифитонных сообществ необходимы для оптимальной организации гидробиологического мониторинга по показателям перифитона. По ценотическому разнообразию довольно широко представлена воздушно-водная (полупогруженная) растительность, встречаются сообщества растений с плавающими листьями, а также погруженная растительность.

Пробы эпифитона отбирали с рдеста блестящего (*Potamogeton lucens* L.), частухи подорожниковой (*Alisma plantago-aquatica* L.), кубышки желтой (*Nuphar lutea* L. Smith), хвоща приречного (*Equisetum fluviatile* L.). При отборе проб очень осторожно под водой срезали стебли растений по возможности под самый корень и, вынув из воды, быстро разрезали их на части длиной 6–15 см, которые помещали в емкости с физраствором на дистиллированной воде. Для определения площади обрастаний измеряли длину и диаметр отрезков стеблей. Обрастания счищали зубной щеткой и фиксировали 4 %-ым формалином для последующей обработки по общепринятой методике.

Диатомовые водоросли определяли в постоянных препаратах с использованием масляной иммерсии. Панцири диатомовых водорослей освобождали от органического вещества методом «холодного сжигания» в хромовой смеси. Биомассу водорослей определяли стандартным объемно-весовым методом. Таксономическую принадлежность различных групп водорослей устанавливали по определителям и справочникам.

В составе эпифитона верхней части Камского водохранилища обнаружено 142 таксона водорослей рангом ниже рода. Из них 87 – Bacillariophyta, 40 – Chlorophyta, 15 – Cyanophyta. Водоросли относились к 50 родам, 33 семействам, 13 порядкам (табл. 3,4). Основу флористического списка составляют диатомовые водоросли (61 %). Водоросли эпифитона в эколого-географическом аспекте представлены широко распространенными, в основном планктонными видами, которые обитают в

пресных водоемах и предпочитают нейтральные воды. В течение всего периода исследования в эпифитоне преобладали диатомовые водоросли. Доминирующий комплекс водорослей представлен следующими видами: *Cymbella lanceolata* (Ehr.) V. H., *C. ventricosa* Kutz., *Gomphonema olivaceum* (Lyngb.) Kutz., *Cocconeis placentula* Ehr., *C. pediculus* Ehr., *Fragilaria capucina* Desm., *F. Crotonensis* Kitt., *Diatoma vulgare* var. *Productum* Grun., *Navicula radiosa* Kutz., *N. viridula* (Kutz.) Ehr., *N. gracilis* Ehr., *N. menisculus* Schum., *Nitzschia acicularis* W.Sm. В целом на разных видах макрофитов можно выделить около 15 видов, обычно составляющих 70 – 80 % общей биомассы. Значения индекса видового разнообразия в альгоценозах достаточно высоки от 2,8 до 3,5.

Таблица 3

Таксономическая структура эпифитона

Отдел	Порядок (кол-во)	Семейство (кол-во)	Род (кол-во)	Вид (кол-во)	Число видов и внутривидовых таксонов
Bacillariophyta	5	16	25	81	87
Chlorophyta	5	9	15	38	40
Сyanophyta	3	8	10	13	15
Всего	13	34	50	132	142

Наиболее обширны формации рдестов (*Potamogeton lucens* L., *P. perfoliatus* L., *P. gramineus* L., *P. pectinatus* L.), создающие почти 59 % годовой продукции всей высшей водной растительности. Все лето на рдестах доминировали диатомовые водоросли *Gomphonema olivaceum*, *Cocconeis placentula*, *C. pediculus* (85 % общей биомассы). Осенью в эпифитоне рдестов на всех станциях преобладали диатомовые из родов *Navicula*, *Diatoma*, *Fragilaria*. Средняя масса альгоценоза – 8,74 г/м².

Фитоценозы частухи подорожниковой (*Alisma plantago-aquatica* L.), как и рдеста блестящего, распространены довольно широко. В июле в эпифитоне сложился полидоминантный комплекс из диатомовых водорослей *Gomphonema olivaceum* и *Cocconeis placentula* (73 % общей численности и 57 % общей биомассы) и зеленых водорослей из родов *Mougeotia*, *Scenedesmus* и *Pediastrum* (13% общей биомассы). В августе эти диатомовые сохранили доминирующее положение. Осенью по численности и биомассе лидировали также диатомовые *Cymbella lanceolata*, *Navicula menisculus* Kutz., *N. viridula*, *Nitzschia acicularis*. При этом видовой состав этих альгоценозов сравнительно беден (табл. 3). Обрастания частухи подорожниковой имели самую низкую биомассу, в среднем – 4,6 г/м².

На заиленных грунтах вдоль берегов мозаичные заросли обычно формирует кубышка желтая (*Nuphar lutea* L. Smith). Она имеет массивные корневища, способные довольно эффективно извлекать соединения биогенных элементов из иловых отложений и обеспечивать ими не только само растение, но и альгофлору ее обрастателей. На кубышке видовой состав достаточно разнообразен (108 таксонов ниже рода), прослеживается также явное доминирование диатомовых водорослей в течение всего периода исследований (*Gomphonema olivaceum*, *Cymbella ventricosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Navicula radiosa*, *N. viridula*). Эпифитон кубышки характеризовался высокими средними биомассой и численностью (15,8 г/м², 1175 тыс. кл. /м²).

Таблица 4

Число видов и внутривидовых таксонов водорослей эпифитона

Субстрат	Синезеленые	Диатомовые	Зеленые	Всего
<i>Potamogeton lucens</i>	5	69	24	99
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	7	53	13	73
<i>Nuphar lutea</i>	9	78	21	108
<i>Equisetum fluviatile</i>	6	57	18	81

Для альгообрастаний хвоща приречного (*Equisetum fluviatile* L.), имеющего слабо развитую корневую систему, в большом количестве использующего кремний для построения своего тела, характерно обилие разнообразных диатомовых водорослей крупных размеров – *Cymbella lanceolata*,

Gyrosigma acuminatum (Kutz) Rabenh., *Navicula gracilis*, *N. radiosa*. В июле доминирующий комплекс эпифитона был представлен диатомовой водорослью *Fragilaria capucina*, образующей длинные цепочки и составляющей 60 % общей биомассы, в августе - *Gonphonema olivaceum* (38 %) и нитчатой зеленой водорослью *Cladophora* (12 %). Осенью господствующее положение принадлежало диатомовым *Diatoma vulgare* var. *Productum* и *Cymbella ventricosa*.

За время наблюдений биомасса эпифитона изменялась от 0,15 до 80,0, в среднем – 8,74 г/м², численность – от 65,0 до 3650,3 тыс. кл./м² со средним значением – 1654,2 тыс. кл./м². Численность, биомасса и количество видов эпифитона распределялись неравномерно по видам макрофитов и станциям, что характерно и для других водоемов.

Флористическое сходство эпифитона на разных видах макрофитов в одинаковых условиях оказалось достаточно велико – в среднем 70 %. Наибольшая степень сходства (96 %) отмечена между эпифитоном рдеста и кубышки желтой. Наибольшие отличия от других альгоценозов имеет эпифитон хвоща (40–70 %).

Сравнение альгофлоры эпифитона на одних и тех же видах макрофитов, обитающих в различных условиях, показало, что общность флористического состава в этом случае ниже, чем на разных макрофитах в пределах одной станции. Проведенные исследования, таким образом, дают основание предполагать, что видовые особенности макрофитов оказывают некоторое влияние на развивающуюся на них альгофлору, но определяющая роль принадлежит особенностям окружающей водной среды. Однако высокие значения индексов сходства видовой структуры свидетельствуют о родстве всех альгоценозов. Структура доминирующих комплексов эпифитона как на одном, так и на разных видах субстратов связана, очевидно, с биологией и морфологией макрофитов и экологическими условиями в местах их произрастания.

Важно подчеркнуть, что до настоящего времени нет однозначного ответа на вопрос, существует ли избирательная способность эпифитона по отношению к субстрату – макрофиту. Некоторые авторы, не отрицая влияния субстрата на развитие эпифитона, указывают на то, что определяющей роли этот фактор не играет. Не разработаны методы, позволяющие выделить роль тех или иных факторов среды для развития эпифитона. Поэтому остается неясность в выборе между двумя предположениями, а именно: либо макрофит-хозяин – нейтральный субстрат, либо он активно влияет на состав и развитие сообщества при условии, что морфология поверхности заметной роли не играет. Всего в составе зоопланктона Камского водохранилища определено более 130 видов.

Зоопланктон исследованного района Камского водохранилища имеет много общего с водохранилищем Европейской части России. В целом его можно охарактеризовать как ротаторно-кладоцерный. Основу планктонной фауны составляют эврибионтные формы с широким географическим распространением. Однако видовое разнообразие обеспечивается редко встречающимися видами сем. *Brachionidae* и *Euchlanidae* (Rotatoria), сем. *Chydoridae* и *Macrothricidae* (Cladocera) и п/сем. *Eucyclopiniae* (Copepoda). В ядро сообщества, выделенное путем ранжировки видов по индексу доминирования $\sqrt{p/V}$, входят несколько видов: доминанты *Daphnia longispina* (26,1), *Asplanchna priodonta* (23,8) и субдоминанты *Bosmina longirostris* (19,0), *Mesocyclops leukartii* (18,1) и *Keratella quadrata* (14,0). Это типично лимнофильный комплекс, свойственный водохранилищам умеренной зоны.

Сообщества планктонных животных по-разному развиваются в течение сезона (табл. 2). В конце июня отмечены самые высокие показатели количественного развития и видового разнообразия планктофауны. Наиболее разнообразны ротатории (38 видов и форм), особенно роды *Euchlanis*, *Keratella*, *Brachionus*. Однако значительную долю численности коловраток (98 %) обеспечивают лишь 9 видов: *Keratella quadrata* (11,47 тыс. экз/м³), мелкие панцирные ротатории (3,61), *Polyarthra* sp. (3,03), *Keratella cochlearis* (2,54), *Asplanchna priodonta* (2,4), *Brachionus calyciflorus* (1,27), *Kellicotia longispina* (0,82), *Trichocerca porcellus* (0,75) и *Filinia longisetata* (0,65). По биомассе доминирует крупная хищная коловратка *A. priodonta*, составляя 86 % биомассы ротаторий и около 40 % биомассы всего зоопланктона.

Кладоцеры получают достаточно хорошее развитие и в качественном (26 видов), и в количественном отношении. Но также, как и у коловраток, видовое разнообразие обеспечивается редко встречающимися видами, а количественное развитие – только двумя видами: *Bosmina longirostris* (10,8 тыс. экз/м³), видом с более низким температурным оптимумом, и *Daphnia longispina* (1,85 тыс. экз/м³), которые составляют 89 % численности и 82 % биомассы ветвистоусых рачков. Часто встречаются также *Bosmina coregoni*, *Chydorus sphaericus* и *Leptodora kindtii*.

Веслоногие ракообразные (17 видов) составили в конце июня лишь шестую часть общей численности зоопланктона. Среди них преобладают копепоидитные стадии циклопид (81 %) и взрослые *Mesocyclops leukartii* (13 %). Многочисленны также *Acanthocyclops vernalis* и *Cyclops strenuus*. Из каллид чаще встречаются *Eurythemora velox* и *Heterosope appendiculata*.

Таким образом, раннелетнее сообщество зоопланктона можно охарактеризовать как ротаторно-клагоцерное. Наибольшей численности достигают *Keratella quadrata*, *Bosmina longirostris* и ювенильные стадии *Cyclopoidea*, а наибольшей биомассы - *Asplanchna priodonta* и *Daphnia longispina*.

В начале августа в планктофауне водохранилища отмечен 71 вид: коловраток – 30, ветвистоусых – 25 и веслоногих рачков – 16 видов. Показатели количественного развития зоопланктона снижены по сравнению с июнем примерно в 2,5 раза. Изменяется и роль отдельных групп планктонных животных. Благодаря интенсивным процессам размножения значительно возрастает численность копепод, на долю науплиальных и младших копепоидитных стадий приходится около 98 % численности веслоногих ракообразных и около половины численности всего зоопланктона. Среди половозрелых особей преобладают *Mesocyclops leukartii* и *M. Crassus*, в основном это овулированные самки. Заметного развития достигает бентический рачок *Paracyclops fimbriatus*, который в июне не был отмечен.

Большая часть биомассы зоопланктона (72 %) обеспечена развитием клadoцер, доминирует *Daphnia longispina*, на долю этого вида приходится 83 % биомассы ветвистоусых и 60 % биомассы всего зоопланктона. Численность этого рачка по сравнению с июнем несколько уменьшается, но в связи с развитием крупных самок его биомасса возрастает в 1,2 раза. Большое развитие получают также *Daphnia cucullata*, *Limnoscida frontosa*, *Diaphanosoma brachyurum* и *Leptodora kindtii*. Количественные показатели других клadoцер значительно снижаются.

В целом создаются благоприятные условия для развития рачкового планктона, а коловраточный испытывает значительное угнетение: его биомасса снижается на порядок. Это связано с уменьшением численности крупных форм: *Asplanchna priodonta*, *Vipalpus gudsoni* видов рода *Brachionus*. Происходит обеднение видового состава ротаторий (до 15). Из планктона выпадают некоторые виды родов *Brachionus*, *Euchlanis*, а также *Notholca acuminata* *Trichotria* sp. Максимум в своем развитии достигает *Polyarthra major*, составляя около половины численности и биомассы коловраток. Это теплолюбивый вид, достигающий массового развития в конце июля – августе, в период «цветения» синезеленых водорослей.

В целом летний зоопланктон можно охарактеризовать копепоидно-клагоцерным или рачковым: половина численности приходится на ювенильные стадии веслоногих рачков, а 60 % биомассы зоопланктона образуют *Daphnia longispina*.

В октябре зарегистрированы самые низкие показатели развития зоопланктона (табл. 2). Происходит значительное сокращение видового состава во всех группах планктонных животных: коловраток – до 26, ветвистоусых – до 15 и веслоногих ракообразных – до 12 видов. Из зоопланктонных сообществ выпадают многие массовые виды: *Brachionus diversicornis*, *B. quadridentatus*, *Filinia longiseta*, виды рода *Trichocerca*, *Leptodora kindtii*, *Bythotrephes longimanus*, все представители сем. *Sididae*.

Основную часть биомассы зоопланктона по-прежнему составляют клadoцеры. Второй пик численности обуславливает своим развитием *Bosmina longirostris*, но по сравнению с июнем он значительно слабее. Численность зоопланктона определяют ювенильные формы циклопид и коловратки *Synchaeta* sp. и *Polyarthra* sp. В целом осенний комплекс зоопланктона остается рачковым.

Таким образом, ядро раннелетнего зоопланктона представлено популяциями *Asplanchna priodonta*, *Daphnia longispina*, *Bosmina longirostris*, *Mesocyclops leukartii* и *Keratella quadrata*. Эти виды составляют 78 % биомассы всего зоопланктона.

В летнем зоопланктонном комплексе доминируют *Daphnia longispina*, *Mesocyclops crassus*, *M. leuckartii* и *Polyarthra major*, составляя около 80 % общей биомассы планктонных животных. Господствующее положение в значительно обедненном осеннем зоопланктоне занимают *Bosmina longirostris*, ювенильные формы *M. leuckartii* и *Synchaeta* sp. (50 % биомассы всего зоопланктона).

Анализируя зоопланктонные сообщества исследованной акватории Камского водохранилища, можно отметить некоторые различия в их видовом составе и количественном развитии на отдельных участках. Количество видов планктонных ценозов на отдельных участках практически одинаково, однако лишь половина из всех отмеченных видов (55 из 100) являются для них общими: 25 видов коловраток, 16 – клadoцер и 14 – копепод. Наиболее специфична для отдельных районов фауна ветвистоусых ракообразных. Видовая специфика обеспечена разнообразными представителями из се-

мейств Macrothricidae и Chydoridae, излюбленными биотопами которых являются илистое дно и заросли прибрежной водной растительности.

Современное состояние бентофауны. Кроме энергетической и транспортной функции водоем имеет большое рыбохозяйственное значение. Ихтиофауна водоема в настоящее время представлена преимущественно карповыми и окуневыми. Ценными видами считаются лещ, судак, щука и налим. Осетровые и лососевые, до зарегулирования стока р. Камы, составляющие значительную долю в промуловах, в настоящее время в ихтиокомплексе водохранилища практически отсутствуют. Основные бентосоядные рыбы в водоеме – лещ, белоглазка, ерш, плотва, язь и густера.

Исследования бентофауны Камского водохранилища проводились в период с осени 2001 по 2004 гг. Материалом для настоящей работы послужило 590 проб макрозообентоса, собранных на 15 разрезах в Камском плесе и на 18 разрезах в наиболее крупных заливах: Иньвенском, Косьвинском, Обвинском, Чусовском и Сылвенском.

В период исследований (2002–2004 гг.) средняя многолетняя общая биомасса донных животных Камского плеса водохранилища оказалась равной 17.40 г/м² при плотности поселений 3.3 тыс. экз./м² (табл. 5).

Таблица 5

Распределение средне-летней и средне-осенней биомассы (г/м²) кормового макрозообентоса Камского водохранилища в период 2001-2004 гг.

Район, залив	Лето	Осень
Камский плес		
Верхний	<u>2.66</u> 0.08-4.77	<u>5.32</u> 0.66-16.9
Центральный	<u>1.87</u> 0.37-2.89	<u>2.48</u> 0.27-5.73
Приплотинный	<u>1.90</u> 0.65-2.93	<u>2.57</u> 0.79-8.18

Примечание. Над чертой – среднее значение, под чертой – пределы колебаний.

В макрозообентосе доминировали крупные брюхоногие и двустворчатые моллюски, главным образом *Viviparus viviparus* (L.) и *Dreissena polymorpha* (Pallas), обеспечивающие своим развитием 82.1% средней общей биомассы донных макробеспозвоночных. Поэтому биомасса кормовых организмов в исследуемый период составила 3.12 г/м², основу ее обеспечивали олигохеты и личинки хириноид, соответственно 35.3% и 45.2%.

Наиболее благоприятные условия для развития гидробионтов складываются в достаточно прочном верхнем районе (выше сброса сточных вод городов Березники и Соликамск), который по уровню развития как общего (34.12 г/м²), так и кормового (3.76 г/м²) зообентоса можно считать самым продуктивным. В центральном и приплотинном районах количество бентофауны снижается и кормовая биомасса здесь не превышает 2.8 г/м². Именно в верхнем районе и вышеперечисленных заливах водохранилища в настоящее время осуществляется основной вылов рыбы субъектами промысловства, рыбаками-любителями и браконьерами. Всего в бентофауне зарегистрировано 224 вида беспозвоночных. Происходит уменьшение кормовой биомассы за счет увеличения количества моллюсков.

Гидрологический режим в значительной степени определяет **видовой состав ихтиофауны водохранилища**. Согласно кадастровых исследований кафедры зоологии позвоночных и ихтиологии ПГУ, в р. Каме обитает 32–34 вида рыб (табл. 6). После зарегулирования речного стока (1954 г.) из состава фауны выпали ценные проходные рыбы – осетр, белуга, сельдь-черноспинка, волжская сельдь, каспийский пузанок, каспийская минога, каспийский лосось, белорыбица. Кроме того, из-за похолодания и деятельности Соликамского ЦБК на 0,5 века исчезли сом и стерлядь (с 1940 г.). Значительно сократилась численность реофилов (подуст, голавль, елец, быстрянка), зато получили развитие рыбы лимнофильного комплекса (лещ, плотва, густера и др.). В результате сложились новые ихтиоценозы (табл. 7), причем это касается как всего водохранилища (включая заливы), так и зон выклинивания подпора, к которым относится (табл. 6).

Таблица 6

Видовой состав рыб верхней части Камского водохранилища

Виды рыб	1950-1960 гг.	1961-1980 гг.	1981-2000 гг.
Таймень	+	–	0
Хариус	+	–	0
Щука	+++	+++	++
Плотва	+++	+++	++
Елец	+++	++	+
Голавль	+++	++	+
Язь	+++	++	++
Гольян озерный	+	+	0
Гольян речной	+++	+	0
Красноперка	–	+	0
Жерех	++	+	++
Верховка	+	+	0
Линь	–	++	0
Подуст	+++	+	0
Пескарь	+++	+	0
Уклея	++	+++	+++
Густера	+	++	+++
Лещ	++	++	+++
Белоглазка	+	+	0
Синец	+	+	+++
Чехонь	+	+	++
Карась золотой	–	+	0
Карась серебряный	–	+	0
Сазан	+	0	0
Голец	++	0	0
Щиповка	++	0	0
Вьюн	–	0	0
Сом	0	–	0
Налим	++	+	+++
Судак	+	+	++
Окунь	+++	++	++
Ерш	+++	+++	+++
Подкаменщик	+	0	0
Всего	37	30	33

Примечание. «–» вид отсутствует, «0» редок, «+» малочисленен, «++» обычен, «+++» многочислен; с учетом всех проходных и местных рыб, выпавших после зарегулирования речного стока, а также рыб притоков и пойменных озер.

Эта часть водохранилища, помимо неустойчивого уровня режима (когда зимой осушается до 6/7 ложа и сохраняется лишь речное русло Камы), характеризуется максимальным загрязнением сточными водами предприятий Соликамска и Березников, которые обуславливают высокую лабильность состава вод и наличие множества токсических соединений в высоких концентрациях (особенно из фенолов и минеральных солей). Сточные воды промпредприятий оказывают негативное воздействие на газовый режим водоема. Из состава донной фауны исчезли многие кормовые беспозвоночные, бентос стал более однообразным и бедным по количеству, что отмечалось в 1970-е гг. и имеет место сейчас (до 1–3 г/м²). Наименьшая биомасса бентоса отмечается на участках сильного промышленного

загрязнения, а в водоеме преобладают бентофаги, следовательно, бедность кормовой базы существенно ограничивает потенциальные ресурсы этих рыб. До 40-х гг. прошлого столетия промышленные загрязнения Соликамско-Березниковского промузла не оказывали существенного воздействия на гидробионтов [1]. Однако с пуском в 1940 г. Соликамского ЦБК и особенно после завершения образования Камского водохранилища здесь стали возникать массовые заболевания рыб, названные позднее токсической водянкой и затем массовые заморы рыб [4; 5]. В последнее время эти процессы резко уменьшились по объему, однако по-прежнему имеют место в локальном плане.

Таблица 7

Рыбы р. Камы в районе Березники – Орёл

Виды рыб	2001-2009 гг.
Таймень	0
Тюлька	++
Щука	++
Плотва	++
Елец	+
Голавль	+
Язь	++
Гольян озерный	–
Гольян речной	–
Красноперка	0
Жерех	++
Верховка	–
Линь	–
Подуст	–
Пескарь	–
Уклея	+++
Густера	+++
Лещ	+++
Белоглазка	0
Синец	+++
Чехонь	++
Карась золотой	–
Карась серебряный	–
Сазан	–
Голец	–
Щиповка	–
Вьюн	–
Сом	+
Налим	++
Судак	+++
Окунь	+++
Ерш	+++
Подкаменщик	–
Всего	19

Примечание. «–» вид отсутствует, «0» редок, «+» малочисленен, «++» обычен, «+++» многочислен; без учета рыб притоков и пойменных озер.

Проведенные 30 лет назад интенсивные комплексные исследования показали заметное ухудшение роста у плотвы, упитанности у всех видов рыб в этом районе [4], а также снижение уровня концентрации гемоглобина, скорости оседания эритроцитов, поверхности эритроцитов, изменение лейкоцитарной формулы в сторону лейкоцитоза и моноцитоза. При этом указанные процессы происходят по-разному у мирных и хищных видов рыб. Усиление свободнорадикальных процессов приводит к автоинтоксикации рыб промежуточными продуктами этих реакций. К сожалению, эти процессы продолжают и сейчас, несмотря на значительное улучшение санитарного состояния вод.

Вместе с тем многолетнее загрязнение верхнего участка Камского водохранилища привело к адаптации большинства гидробионтов и сказывается не столько на сокращении численности (это также имеет место), сколько на ухудшении органолептических свойств рыб. Улучшение экологической обстановки в последние 5–10 лет из-за падения промышленного производства и деятельности комитетов по охране природы привело к ряду положительных эффектов (появились стерлядь и таймень – индикаторы чистоты воды), однако увеличение воспроизводства пока нет и сокращение численности и уловов продолжалось до 2000 г. включительно, как и в других районах водохранилища. В настоящее время происходит постепенное увеличение численности почти всех видов рыб (особенно судака и леща).

Следует заметить, что условия для нереста основных фитофильных видов (лещ, синец, щука, плотва) в верховьях, более благоприятны в сравнении с остальными зонами водоема, но тем не менее численность леща снижалась до 1999–2000 гг., а плотвы давно уже низкая. Относительно плодовитости следует сказать, что практически у всех перечисленных видов она в исследуемом районе несколько ниже, чем в остальных участках водохранилища, но различия статистически недостоверны.

В целом экобиологические особенности рыб верхней части Камского водохранилища заключаются в следующем:

1) наличие оптимальных мелководных нерестилищ со свежезалитой растительностью для фитофильных рыб (лещ, синец, плотва, щука);

2) наиболее массовый нерест в районе зарегистрирован для синца (устье р. Позь и устье р. Черная – до 70% и более от всех весенне-нерестующих рыб), для леща это в значительной мере транзитная зона, его массовый нерест происходит в вышерасположенных участках, здесь происходят массовые преднерестовые скопления и затем их миграция вверх; численность щуки и плотвы невелика;

3) по темпу роста, упитанности и плодовитости рыбы района отстают от своих собратьев из других участков водохранилища;

4) скорость созревания здесь выше, что предусматривает возможность повышенной смертности производителей;

5) токсическая водянка, ранее массовая в этом районе, сейчас отмечается как редкое явление, также как и другие патологические изменения рыб (тусклая окраска тела, печени, гипертрофия селезенки и др.), что свидетельствует об улучшении экологической обстановки в водах в районе г. Березники и ниже.

Выводы

1. Гидродинамический режим верхней части Камского водохранилища характеризуется повышенным обменом вод, наиболее высокими скоростями течения, способствующими хорошей самоочищающей способности водоема и существенно снижающими техногенное воздействие.

2. В период зимней сработки водохранилища отмечается неблагоприятная ситуация по иону аммония, железу, меди, марганца, а также напряженная ситуация по растворенному кислороду; в фазу наполнения водоема отмечается превышения ПДК по железу, меди и марганцу; в летне-осенний период обнаруживаются превышения ПДК по железу, меди, марганцу и цинку. Превышение норм по железу (общему), марганцу и меди связано с повышенным природным гидрохимическим фоном, на который накладывается техногенное воздействие стоков Соликамско-Березниковского промышленного комплекса.

3. Наиболее благоприятные условия для развития гидробионтов складываются в верхнем, достаточно проточном районе (выше сбросов сточных вод городов Березники и Соликамск), который по уровню развития как общего, так и кормового зообентоса можно считать самым продуктивным.

4. Многолетнее загрязнение верхнего района Камского водохранилища привело к изменению видового состава ихтиофауны, к адаптации большинства гидробионтов и сказалось на сокращении их численности, а также ухудшении органолептических свойств рыб. Однако исследования, выполненные в 2000–2010 гг. показали, что наблюдается постепенное увеличение численности ряда видов рыб (особенно судака и леща).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдин В.М., Соловьева Н.С. О влиянии промышленного загрязнения на рыб верхней части Камского водохранилища // Основы рационального использования рыбных ресурсов камских водохранилищ: межвуз. сб. научн. тр. Пермь, 1978. С. 13-30.
2. Двинских С.А., Китаев А.Б. Гидрология камских водохранилищ. Пермь, 2008. 266 с.
3. Двинских С.А., Китаев А.Б., Зиновьев Е.А. Влияние защитной дамбы Зырянского нефтяного месторождения на экологическую ситуацию в верхней части Камского водохранилища // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов: труды V Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: Уральский гос. горный ун-т, 2017. С.50-57.
4. Зиновьев Е.А. Лещ как основной компонент фауны и промысла в камских водохранилищах // Рыбные ресурсы Камско-уральского региона и их рациональное использование: мат. научно-практ. конф. Пермь, 2001. С. 41-44.
5. Зиновьев Е.А., Мандрица С.А. Особенности ихтиофауны в бассейне Верхней Камы и ее динамики // Проблемы охраны окружающей среды и здоровья населения Верхнекамья: мат. конф. Пермь, 2002. С. 135-138.
6. Китаев А.Б. Важнейшие гидродинамические характеристики водохранилищ (на примере Камского каскада). Пермь, 2006. 260 с.

Поступила в редакцию 08.02.18

E.A. Zinoviev, S.A. Dvinskih, A.B. Kitaev

CHARACTERISTIC OF MODERN STATE OF THE AQUATIC ECOSYSTEM OF THE KAMA RESERVOIR UPPER REGION

The characteristic of the contemporary state of the ecosystem of the upper part of Kamsky reservoir is given. The study is based on materials of expeditionary researches of the studied area of reservoir, executed by authors in 2000-2010, and also results of the field hydrochemical researches conducted in 2008-2010 by Federal government agency «Kamvodoksplyuatsiya». The hydrodynamical and hydrochemical regimes, influencing the state of hydrofauna, bentofauna, ichthyofauna of the reservoir are considered. Hydrodynamical regime is described through the water levels in the reservoir, water exchange rates, speed of flow and wind currents, ice and thermal phenomena. It is shown how an ecosystem of the examined area of the Kama reservoir develops under alternation of river and reservoir conditions. Negative impact of wastewater of Solokamsky-Bereznikovskiy industrial complex, thrown down in a reservoir, on the state of hydrofauna and ichthyofauna is marked. Species composition of fishes is presented in overhead part of reservoir in different periods of existence of storage pool (1950-1960, 1961-1980 and 1981-2000), the tendency of its change is shown. Species composition of fish fauna is shown in a new century (2000-2009). The adaptation capacity of fishes for changing ecological terms is marked.

Keywords: reservoir, water level, water exchange, flow velocity, thermal regime, chemical composition of water, hydrofauna, bentofauna, ichthyofauna.

REFERENCE

1. Goldin V.M. and Solovyov N.S. [On the impact of industrial pollution on fishes of the upper part of Kama reservoir], in *Mezsvuz. sborn. nauch. tr. «Osnovy racional'nogo ispol'zovaniya rybnih resursov kamskih vodohranilishch»*, Perm, 1978, pp.13-30 (in Russ.).
2. Dvinskih S.A. and Kitaev A.B. *Gidrologiya kamskih vodohranilishch* [Hydrology of Kama reservoirs], Perm, 2008, 266 p. (in Russ.).
3. Dvinskih S.A., Kitaev A.B. and Zinoviev E.A. [Influence of protective dam of Zyryanovsk oilfield on the ecological situation in the upper part of the Kama reservoir], in *Tr. V Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. «Ekologicheskaya i tekhnosfernaya bezopasnost' gornopromyshlennyh regionov»*, Ekaterinburg, 2017, pp.50-57 (in Russ.).
4. Zinoviev E.A. [Bream as a major component of the fauna and fisheries in the reservoirs of Kama reservoirs] in *Mat. nauchno-prakt. konf. «Rybnye resursy Kamsko-ural'skogo regiona i ih racional'noe ispol'zovanie»*, Perm, 2001, pp.41-44 (in Russ.).
5. Zinoviev E.A. and Mandrica S.A. [Features of the ichthyofauna of the Upper Kama basin and its dynamics] in *Mat. nauchno-prakt. konf. «Problemy ohrany okruzhayushchej sredy i zdorov'ya naseleniya Verhnekam'ya»*, Perm, 2002, pp.135-138 (in Russ.).
6. Kitaev A.B. *Vazhnejshie gidrodinamicheskie harakteristiki vodohranilishch (na primere Kamskogo kaskada)* [The most important hydrodynamic characteristics of reservoirs (on example of Kama cascade)], Perm, 2006, 260 p. (in Russ.).

Зиновьев Евгений Александрович,
доктор биологических наук, профессор кафедры
зоологии позвоночных и экологии
E-mail: zoovert@psu.ru

Двинских Светлана Александровна,
доктор географических наук, профессор кафедры
гидрологии и охраны водных ресурсов
E-mail: hydrology@psu.ru

Китаев Александр Борисович,
доктор географических наук, профессор кафедры
гидрологии и охраны водных ресурсов
E-mail: hydrology@psu.ru

ФГБОУ ВО «Пермский государственный
национальный исследовательский университет»
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Zinoviev E.A.,
Doctor of Biology, Professor, Professor at Department
of Vertebrate Zoology and Ecology
E-mail: zoovert@psu.ru

Dvinskikh S.A.,
Doctor of Geography, Professor, Professor at Department
of Hydrology and Water Resources Conservation
E-mail: hydrology@psu.ru

Kitaev A.B.,
Doctor of geography, professor, professor at Department
of Hydrology and Water Resources Conservation
E-mail: hydrology@psu.ru

Perm State University
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990