

**ПРОГРАММА РЕАБИЛИТАЦИИ
ВЕРХНЕ-МАКАРОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**Попов А.Н., Мухутдинов В.Ф., Павлюк Т.Е., Загайнова Е.В., Бутакова Е.А.,
Фоминых А.С., Полыгалов А.С.**

ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и
охраны водных ресурсов», г. Екатеринбург, Россия.
pan1944@rambler.ru

Ключевые слова: гидрохимия, фитопланктон, макрофиты, зоопланктон, макрозообентос, донные отложения, источники загрязнения, фосфор, эвтрофикация, качество воды, водохранилище, водосбор.

Для апробирования методологии по реабилитации поверхностных водных объектов исследовано Верхне-Макаровское водохранилище, имеющее статус резервного водного объекта г. Екатеринбурга. Анализ гидрохимической ситуации в водохранилище и его притоках позволил установить, что водоем получает большую часть загрязняющих веществ по р. Чусовой, а также из небольших притоков частного водосбора. Основные загрязняющие вещества – ионы металлов: железа, меди, цинка, марганца, алюминия; органическое вещество в форме ХПК; биогенные вещества в виде минерального и общего фосфора.

Для снижения поступления загрязнений в водохранилище предлагается произвести формирование биоплато в устьевых участках малых рек, впадающих в р. Чусовую; создать предводохранилище в районе с. Курганово; провести мероприятия на водосборе по защите поверхностных вод; организовать в водоохранной зоне патрулирование санитарной полиции и обязать выполнять нормативы ведения хозяйственной деятельности водопользователей. Приведена приблизительная стоимость каждого из мероприятий, определен их экологический эффект.

**PROGRAM OF REHABILITATION
FOR VERKHNE-MAKAROVSK RESERVOIR**

**Popov A.N., Mukhutdinov V.F., Pavluk T.Y., Zagaynova E.V., Butakova E.A.,
Fominykh A.S., Polygayev A.S.**

RosNIIVKh, Ekaterinburg, Russia
pan1944@rambler.ru

Key words: hydro/chemistry, phyto/plankton, macrophytes, zoo/plankton, macro/zoo/benthos, bottom sediments, pollution sources, phosphorous, eutrophication, water quality, reservoir, catchment.

Verkhe-Makarovsk with a status of the Ekaterinburg reserve water body has been studied in order to test a methodology of surface water bodies' rehabilitation. Analysis of hydro/chemical situation in the reservoir and its tributaries enables to state that the water body receives the most part of pollutants from the Chusovaya River, as well as from small inflows of a particular catchment. The main pollutant are metal ions: iron, copper, zinc, manganese, aluminum, organic matter in the form of COD, biogenic substances as mineral and total phosphorous.

To decrease pollutants income to the reservoir it is proposed to form a biological plateau in the mouth reaches of small rivers inflowing to the Chusovaya River, to establish a pre-reservoir in the Kurganovo area, to conduct measures at the catchment in order to protect surface waters, to organize sanitary police patrol in the water/protective zone, and to oblige water users to obey the

norms of economic activity. Tentative cost of each of these measures is given, and their respective ecological effect is estimated.

Выбор Верхне-Макаровского водохранилища для апробирования разработки инструктивно-методической базы по реабилитации поверхностных водных объектов не случаен. Этот водоем имеет статус резервного водного объекта, из которого осуществляют постоянные попуски в Волчихинское водохранилище – основной источник питьевого и хозяйственного водоснабжения г. Екатеринбурга.

Технологии ведения хозяйственной и рекреационной деятельности на водосборе и акватории привели к ситуации, которая в настоящее время инициировала вопрос о необходимости улучшения гидрохимического, санитарного и гидробиологического состояния водоема. При этом главным назначением водоема остается формирование воды высокого качества. Цель исследования – разработать рекомендации по улучшению экологического и гидрохимического состояния Верхне-Макаровского водохранилища.

По географическому положению водосбор и акватория Верхне-Макаровского водохранилища расположены в полосе восточных предгорий Урала и относятся к Камскому бассейну. Водохранилище наполняется водами р. Чусовой, образованной от слияния двух истоков: Западная Чусовая и Полдневая Чусовая. Плотина водохранилища находится в 100 км от истока главной реки – Полдневая Чусовая и в 20 км южнее г. Екатеринбурга. Объем при НПУ – 52,45 млн м³, средняя глубина – 3,7 м, максимальная глубина – 12 м, площадь мелководий глубиной до 2,0 м – 3,76 км² [1]. Верхне-Макаровское водохранилище осуществляет многолетнее, с двухлетним периодом сработки, регулирование стока для получения постоянной гарантированной водоотдачи 2,4 м³/с.

В результате особенностей увлажнения территории, отбора воды на хозяйственные нужды, технологии ведения хозяйственной деятельности на водосборе и акватории уровень воды в водоеме в период летней и зимней межени снижается на 2–3 м. Водный объект вследствие этого экологически неполноценен, подвержен интенсивному «цветению» водорослей, поэтому является источником загрязнения Волчихинского водохранилища органическим веществом автохтонного происхождения.

Существенное влияние на качество воды оказывает деятельность жилищно-коммунального хозяйства 10 населенных пунктов совокупной площадью 8 км². Определенный вклад вносит также садово-дачная застройка и объекты рекреации, расположенные в бассейне реки. Общее количество садовых товариществ на частной территории водосбора водохранилища доходит до 50, при общей площади 800 га.

Непосредственно на берегу водохранилища расположен достаточно крупный населенный пункт – с. Курганово, значительная часть жилых построек которого не благоустроена, а большая часть частного сектора расположена в водоохранной зоне водохранилища. В непосредственной близости от водоема имеется несколько баз отдыха: «Автомобилист», «Трубник» и «Курганово». Земли, бывшие до недавнего времени в сельхозобороте, интенсивно осваиваются новыми садовыми товариществами, строения которых вплотную подступают к урезу воды в водохранилище.

Гидрохимический анализ воды в Верхне-Макаровском водохранилище и его притоках позволил установить, что водоем получает большую часть загрязняющих веществ с водой р. Чусовая, также из небольших притоков частного водосбора (рис. 1). Основными загрязняющими веществами воды водохранилища являются: ионы металлов – железо, медь, цинк, марганец, а также алюминий; органические вещества в форме ХПК (от 1,5 до 3 ПДК); биогенные элементы – минеральный и общий фосфор, общий азот с минеральными формами в виде иона аммония и нитрат иона.

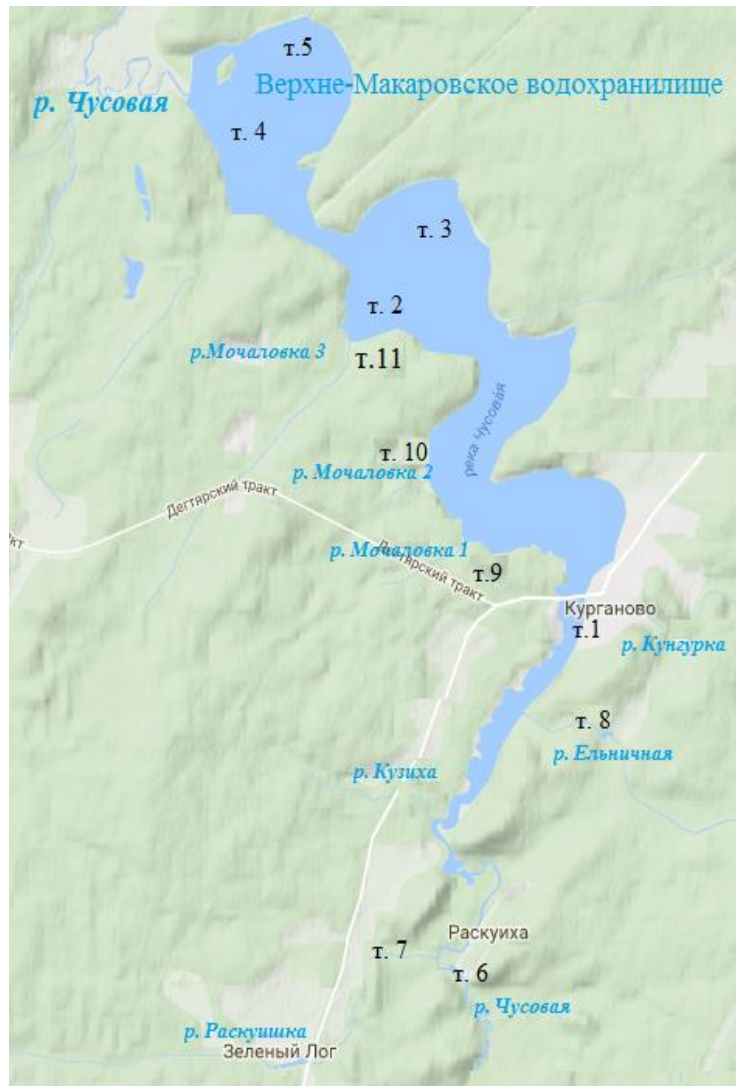


Рис.1. Схема расположения точек наблюдений на акватории и притоках Верхне-Макаровского водохранилища.

Содержание ионов металлов во все периоды многократно превышало нормы ПДК_{рх}: железо общее – от 19 до 30 раз; марганец – от 16 до 42; медь – от 19 до 26 раз весной, от 5 до 18 раз – летом и от 11 до 20 раз осенью; цинк – до 3 раз. Превышение экологического норматива по фосфору фосфатов (0,05 мг/л [2]) наблюдали в период летней межени. Наибольшие показатели $P-PO_4^-$ были обнаружены в р. Чусовой – 0,071 мг/л и в реке Мочаловка-2 – 0,056 мг/л, из чего следует, что основной поставщик этого биогенного вещества – главная водная артерия, пополняющая водохранилище, а также небольшие притоки частного водосбора.

Качество воды в Верхне-Макаровском водохранилище по гидрохимическим показателям квалифицируется как соответствующее 3–4 классу – от «удовлетворительной чистоты» до «загрязненной».

Продукционные характеристики фитопланктона водохранилища, насчитывающего 74 вида, разновидности и формы водорослей из 8 отделов – высокие: численность клеток водорослей изменялись от 11,08 до 168,77 млн кл/л, биомасса – от 8,34 до 20,20 мг/ дм³. Структура фитопланктонного сообщества Верхне-Макаровского водохранилища в августе имела ряд отличий от структуры большинства континентальных водоемов: выявлено высокое видовое разнообразие синезеленых водорослей, которые доминировали по

численности и биомассе. Вместе с синезелеными большую долю общей биомассы сообщества определяли динофитовые извгленивые водоросли. Высокий уровень численности и биомассы водорослей, преобладание в структуре синезеленых, динофитовых и эвгленивых водорослей могут служить косвенным показателем органического загрязнения Верхне-Макаровского водохранилища.

Высокие концентрации хлорофилла «а» в течение всего вегетационного периода (до 70 мкг/л) указывали на стабильный высокоэвтрофный статус водоема, сопровождающийся явлением «цветения».

Макрофиты – один из важнейших факторов самоочищения, имеют слабое развитие, связанное со значительным колебанием уровня воды и с продолжительным пребыванием репродуктивной зоны макрофитов в осушенном состоянии. Общая площадь зарастания погруженными и полупогруженными высшими водными растениями не превышает 1 % от площади водоема.

Зоопланктон, насчитывающий 20 видов, наибольшую продуктивность имел весной и летом в верховье водохранилища, чему способствовало наличие богатой пищевой базы в виде органического вещества и бактерий. Видовой состав макрозообентоса водоема бедный и составляет 10 таксонов уровня вида и выше, при этом все виды принадлежат зоне открытой акватории водоема с типичными лентическими условиями. Таксономический состав макрозообентоса водохранилища представлен типичными видами Палеарктики. Биомасса бентоса в среднем за сезон по акватории составила 2,11 г/м², при численности 296 экз/м².

По гидробиологическим показателям качество воды оценивалось: 1 – по биомассе фитопланктона – «умеренно загрязненная» (класс 4а) в мае, в августе – как «сильно загрязненная» (класс 4б); 2 – по содержанию хлорофилла «а» – от «вполне чистой» до «загрязненной»; 3 – по макрозообентосу – водохранилище находится в умеренно угнетенном состоянии.

Эксперименты с донными отложениями, проведенные в лаборатории, указали, что они являются источником вторичного загрязнения по фосфору минеральному, фосфору общему, нитратному азоту, ХПК, меди (2+), цинку(2+). Однако площадь и количество донных отложений с подобными свойствами незначительна, они не могут оказать существенного влияния на общий процесс формирования качества воды.

Анализ количества поступающих ингредиентов в водохранилище показал, что основной поставщик загрязнений в водохранилище – р. Чусовая, далее – притоки частного водосбора, водоохранная зона и внутриводоемные процессы.

Исходя из российского и зарубежного опыта реабилитационных мероприятий и анализа ситуации, для снижения поступления загрязнений в р. Чусовая из небольших притоков решено предложить строительство ботанических площадок, или, так называемых, биоплата в устьевых участках малых рек, впадающих в Чусовую. Формирующаяся в них высшая водная растительность будет ассимилировать биогенные вещества и другие загрязнения. Эффективность работы подобных сооружений доказана в лабораторных и натуральных экспериментах РосНИИВХ [3– 6]. Установлено, что для теплого периода года при прохождении через ботаническую площадку (рогоз) за 90 мин величина БПК₅ снизилась с 5,25 до 0,8 мгО₂/л, т. е. на 84,7 %, содержание фосфора минерального – с 0,62 до 0,056 мг/л (на 91 %), азота нитратного – с 5,9 до 1,0 мг/л (на 83 %). Для осенне-зимних условий также наблюдалась очистка воды от соединений фосфора и азота (за исключением азота органического), но в меньшей степени, что объясняется прекращением жизнедеятельности высших водных растений. Очистка происходила в основном за счет микроорганизмов обрастаний. Так, за 90 мин контакта воды с воздушно-водными растениями (рогоз) в октябре-ноябре наблюдалось снижение азота аммиачного с 2,1 до 0,8 мг/л (на 61 %), азота нитритного – с 0,08 до 0,03 мг/л (62 %), азота нитратного – с 3,52 до 1,7 мг/л (51 %), фосфора минерального – с 0,78 до 0,1 мг/л (87 %). Происходило увеличение содержания азота органического при прохождении через ботаническую площадку, что связано с частичным разложением высшей водной растительности. Так, за 20 мин контакта с

макрофитами содержание азота органического в октябре увеличивалось на 5–8 % по отношению к природной воде.

В ходе исследований РосНИИВХ, установлено, что время снижения концентрации минерального фосфора в гипотетическом биогеохимическом барьере Верхне-Макаровского водохранилища с учетом того, что максимальные концентрации за время исследования в воде на входе достигали 0,2 мг/л, до экологической нормы – 0,05 мг/л произойдет через 5 суток. Если учесть, что такие концентрации выявлялись редко, а в основном составляли от 0,1 до 0,072 мг/л, то время снижения содержания фосфора до нормативного уменьшится до 2 суток.

На основании полученных во время исследований данных по фосфору и использовании их в модели В.В. Бульона, были произведены расчеты продукции трофических звеньев экосистемы Верхне-Макаровского водохранилища [7]. Трофический статус водоема по результатам обработки соответствовал уровню высокой эвтрофности. Имитация условий, а именно, гипотетическое снижение концентрации фосфора только на 20 мкг/л по той же модели показало снижение продукционных характеристик и трофического статуса до уровня мезотрофного, т. е. концентрация водорослей составит не более 2 – 2,5 мг/л.

Эффективность накопления металлов в биомассе высших водных растений, согласно натурным исследованиям, проведенными РосНИИВХ, представлена в таблице.

Таблица. Накопление некоторых ингредиентов высшими водными растениями в условиях интенсивного загрязнения природных вод соединениями металлов, % от средней биомассы

Объекты исследования	Содержание металлов						
	Cd	Cu	Pb	Fe	Zn	Ca	As
Листья рогоза, зеленые	0,021	0,0115	0,125	1,045	0,225	5,5	0,002
Корень рогоза	0,027	0,074	0,145	7,42	0,405	3,4	0,036
Листья тростника (отмирающие)	0,0165	0,0305	0,115	1,365	0,48	6,5	0,0005
Листья тростника, зеленые	0,0215	0,0435	0,115	6,66	0,29	2,6	0,0029
Соцветие тростника	0,029	0,05	0,011	0,108	0,004	–	–
Стебель тростника	0,025	0,0025	0,0105	0,0441	0,001	–	–
Корень тростника	0,2	0,1185	0,12	7,84	0,76	–	0,014

На начальном этапе рекомендуется построить ботанические площадки в районе д. Полдневая, где протекает р. Полдневая Чусовая, принимающая притоки рек Каменка, Стебенёвка, Омелёвка. Выбор этой территории основан на том, что эта местность имеет развитое животноводство, а на водосборе указанных рек имеются полигоны хранения навоза.

Примерная стоимость сооружения одной дамбы длиной в 10 м вместе с проектированием составит около 200 тыс. рублей.

Следующий участок для формирования биоплато в устьевых участках – реки Красногорка и Раскуишка. На водосборе первой реки находится одноименный населенный пункт Красногорка с населением 402 человека и три садовых некоммерческих товарищества. На водосборе р. Раскуишки имеется животноводческий комплекс крупного рогатого скота в Зеленом Логе, а также на значительных площадях бывших сельхозземель, выделенных под строительство коттеджных поселков, уже интенсивно ведутся работы. Из этого следует, что уровень антропогенной нагрузки на водосбор р. Чусовой на данном участке в ближайшее время увеличится.

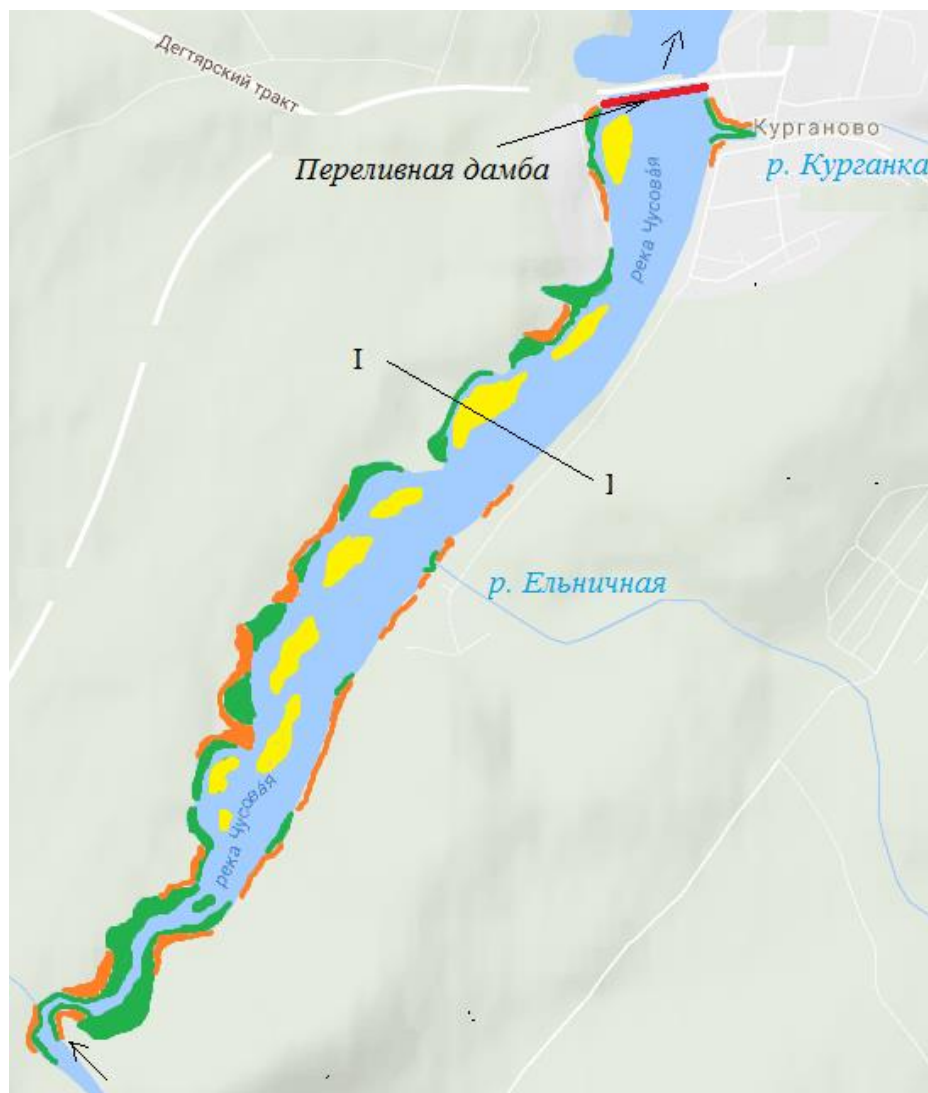


Рис. 2. Верховье Верхне-Макаровского водохранилища, с. Курганово. Предлагаемое место создания предводохранилища: оранжевым цветом показаны площади произрастания прибрежно-водных растений, зеленым – погруженных, желтым – растений с плавающими на поверхности воды листьями.

Для снижения загрязнения биогенными веществами и тяжелыми металлами непосредственно водохранилища необходимо рекомендовать создание предводохранилища (рис. 2), на котором сформируется пойменное биоплато – один из типов ботанических площадок. Для этого следует построить переливную плотину в с. Курганово перед мостом, выше по течению, по которому проходит автодорога Екатеринбург – Полевской, отгородив верхнюю часть водохранилища для поддержания там постоянного уровня воды 316,5 м. Это

позволит исключить большое снижение уровня воды в верховьях водохранилища при его сработке в зимний период, что в настоящее время приводит к вымерзанию репродуктивных органов высших водных растений, летом это предотвратит их высыхание. Длина такой дамбы составит 340 м. Необходимость проведения отдельных мероприятий на реках Курганка и Ельничная автоматически исключится, т. к. их воды будут поступать на биоплато.

Зарастаемость верховьев Верхне-Макаровского водохранилища в настоящее время составляет 4 %, в то время как ее оптимальная величина должна быть 40 % и более. Видовой состав растений ботанической площадки можно обогатить интродуцентами, одним из которых может стать, так называемая «уральская эйхорния» – телорез. Это растение – плавающее, неприхотливое, обитает в различных водоемах и водотоках, дает высокую биомассу. В конце вегетационного периода возможно удаление биомассы за пределы водоема.

Строительство переливной плотины позволит поддерживать оптимальные глубины от 1 до 2 м на большей части акватории, тем самым стимулировать развитие высшей водной растительности, что позволит довести зарастание акватории высшей водной растительностью до 40–50 %. Кроме того, при падении воды с высоты плотины будет происходить дополнительная аэрация, в том случае, если уровень воды в основной части водохранилища ниже отметки 316,5 м. При поддержании воды на НПУ (317 м) после наполнения водохранилища и затопления плотины в весенний период создаются обычные условия для нереста рыбы, поэтому ихтиофауне вреда наноситься не будет.

Расчет времени пребывания воды в предводохранилищах произведен на уровень 316,5 м для лета маловодного года. Площадь зеркала предводохранилища F равна 537600 м² или 54 га. Средняя глубина $H_{ср}$ в предводохранилище – 1,67 м. Объем предводохранилища оставляет 913920 м³. Приток воды $Q_{ср}$ в предводохранилище – 3,58 м³/с. При таких исходных параметрах водообмен составляет 3 суток. Стоимость проектирования и строительства дамбы – от 10 700000 рублей.

Особое внимание необходимо уделить водоохраным зонам и прибрежным полосам. Необходимо обратить внимание на создание защитной прибрежной полосы вдоль правого берега у с. Курганово. Здесь полностью нарушается статус водоохранной зоны: строения КП «Белые росы», почти вплотную подступившие к берегу водохранилища, отделены от водоема только узким полотном дороги.

Прибрежные защитные полосы, как правило, должны быть заняты древесно-кустарниковой растительностью или залужены.

Отмечено, что любители водных рекреаций оставляют автотранспорт вблизи от уреза воды, а летом, после снижения ее уровня и образования широкого пляжа, беспрепятственно разъезжают по береговой линии (рис. 3). Такой вид активного отдыха следует регламентировать работой санитарной полиции. Патрулирование водоохранной зоны должно быть регулярным и во все сезоны года.

На берегах наблюдается замусоренность, формируются свалки отходов и мусора (рис. 4). Поддержание в надлежащем состоянии водоохранных зон, прибрежных защитных полос и водоохранных знаков возлагается на водопользователей. Собственники земель, землевладельцы и землепользователи, на землях которых находятся водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы, обязаны соблюдать установленный режим использования этих зон и полос.



Рис. 3. Водохранилище в период летней межени в районе с. Курганово.



Рис. 4. Свалка отходов и мусора на берегу водохранилища.

Подводя итог исследованиям, следует констатировать, что на водосборе Верхне-Макаровского водохранилища и в его водоохранной зоне для оздоровления экосистемы необходимо проведение следующих реабилитационных мероприятий:

1. Формирование биоплато в устьях притоков р. Чусовой: рек Каменки, Стебенёвки, Омелёвки, Красногорки, Раскуишки.

2. Создание предводохранилища методом строительства переливной дамбы и формирования пойменного биоплато выше автодорожного моста.

3. Мероприятия на водосборе (д. Полдневая) по защите поверхностных вод от воздействия навозохранилищ.

4. Организация в водоохранной зоне патрулирования санитарной полиции с задействованием транспорта: летом – автомобиля и моторной лодки; наведение санитарного порядка в водоохранной зоне, в наибольшей степени подверженной антропогенной нагрузке (очистка от мусора, установка контейнеров с организацией их вывозки, установка на границе водоохранной зоны соответствующих знаков и плакатов с изложением правил поведения в водоохранной зоне и на акватории).

5. Соблюдение нормативов ведения хозяйственной деятельности водопользователями, строения которых располагаются в водоохранной зоне в соответствии с нормативными документами.

6. Поставить вопрос перед природоохранными органами области, (в т. ч. природоохранной прокуратуры) о запрещении какого-либо строительства в водоохранных зонах водных объектов, являющихся источниками водоснабжения населенных пунктов.

Анализ гидрохимической ситуации в Верхне-Макаровском водохранилище и его притоках позволил установить, что водоем получает большую часть загрязняющих веществ по р. Чусовой, а также из небольших притоков частного водосбора. Основными загрязняющими веществами водохранилища являются ионы металлов – железа, меди, цинка, марганца, алюминия; органическое вещество в форме ХПК; биогенные вещества в виде минерального и общего фосфора.

Негативные явления в летний период в водоеме, как правило, связаны с высокой продукционной деятельностью фитопланктона, вторичным загрязнением, что тесным образом связано с климатическими условиями и уровнем режимом.

При существующей на данном этапе ситуации, в качестве реабилитационных мероприятий предлагается: 1 – произвести формирование биоплато в устьевых участках малых рек, впадающих в р. Чусовая; 2 – создать предводохранилище в районе с. Курганово; 3 – провести мероприятия на водосборе по защите поверхностных вод от воздействия навозохранилищ; 4 – организовать в водоохранной зоне патрулирование санитарной полицией; 5 – обязать выполнять нормативы ведения хозяйственной деятельности водопользователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Декларация безопасности гидротехнических сооружений Верхне-Макаровского гидроузла на р. Чусовая. ЕМУП Водоканал. Екатеринбург. 2012.
2. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Утв. Минприроды России. 30 ноября 1992.
3. Разработка мероприятий по улучшению гидробиологического и гидрохимического состояния водохранилищ системы водоснабжения г. Свердловска // Отчет по НИР РосНИИВХ, науч. рук. А.Н. Попов. Екатеринбург. 1994. 158 с.
4. Попов А.Н. Прогноз и регулирование качества поверхностных вод (в условиях Урала): дис. ...д-ра техн. наук. Ростов-на-Дону, 1992. 262 с.

5. *Бондаренко В.В.* Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами и рассредоточенным стоком с помощью биоинженерных систем: дис. ...д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2000. 232 с.
6. *Попов А.Н., Почечун В.А., Семячков А.И.* Инновационные технологии защиты водных объектов в горно-промышленных районах/под редакцией профессора А.И. Семячкова. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2009. 128 с.
7. *Бульон В.В.* Влияние ключевых биотических и абиотических факторов на рыбопродуктивность водоемов. Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды / Материалы II междунар. науч. конф. Минск: БГУ, 2003. С. 15–18.

Сведения об авторах:

Попов Александр Николаевич, заведующий отделом научно-методического обеспечения восстановления и охраны водных объектов, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), 620049, Россия, Екатеринбург, ул. Мира 23; e-mail: pan1944@rambler.ru

Мухутдинов Валерий Федорович, ведущий научный сотрудник, сектор гидробиологических исследований, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), 620049, Россия, Екатеринбург, ул. Мира 23; e-mail: muhutdinov1@rambler.ru

Павлюк Тимур Евгеньевич, заведующий сектором гидробиологических исследований, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), 620049, Россия, Екатеринбург, ул. Мира 23; e-mail: t.pavluk@mail.ru

Загайнова Екатерина Владимировна, младший научный сотрудник, отдел научно-методического обеспечения восстановления и охраны водных объектов, ФГБУ РосНИИВХ, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23.

Бутакова Елена Анатольевна, младший научный сотрудник, отдел научно-методического обеспечения восстановления и охраны водных объектов, ФГБУ РосНИИВХ, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23.

Фоминых Алексей Сергеевич, старший научный сотрудник, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), 620049, Россия, Екатеринбург, ул. Мира 23; e-mail: fominyh82@mail.ru

Полыгалов Андрей Сергеевич, научный сотрудник, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), 620049, Россия, Екатеринбург, ул. Мира 23.