

О РЕАБИЛИТАЦИИ СЕВЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Попов А.Н. Павлюк Т.Е. Мухутдинов В.Ф.
Иманова В.В. Фоминых А.С., Польшгалов А.С.

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

Ключевые слова: антропогенное воздействие, источники загрязнения, батиметрическая съемка, сульфаты, фториды, водосбор, вторичное загрязнение, подземная гидросфера, опробование почвы, ущерб, математическая модель, космосъемка.

Проведены работы по комплексному исследованию источников загрязнения Северского водохранилища. Получены гидрологические, гидрохимические, гидробиологические характеристики водохранилища, втекающих притоков, локальных сбросов сточных вод. Проведены батиметрическая съемка водохранилища, отбор проб донных отложений. Получены изобаты глубин, рассчитана мощность донных отложений. Проведен лабораторный эксперимент по оценке влияния донных отложений на качество воды водохранилища. Разработаны мероприятия по реабилитации Северского водохранилища.

ON THE SEVERSK RESERVOIR REHABILITATION

Popov A.N., Pavluk T.E., Mukhutdinov V.F.,
Imanova V.V., Fominykh A.S., Polygalov A.S.

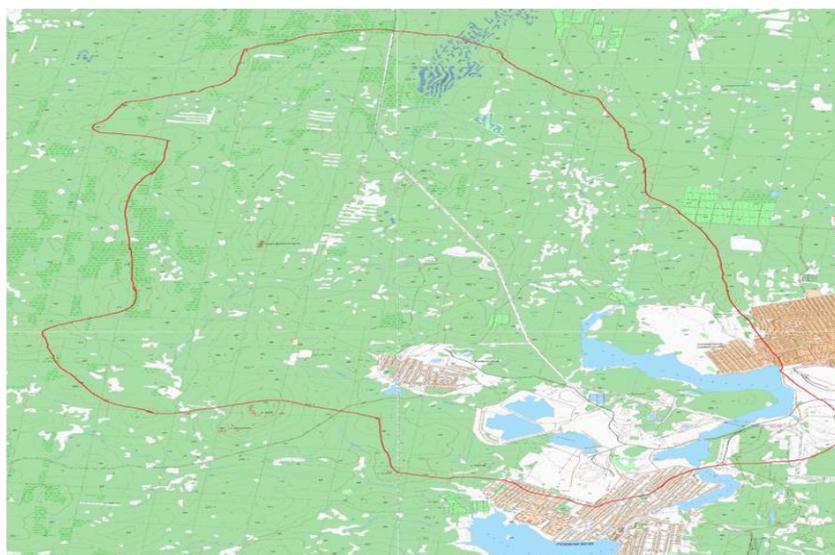
RosNIIVKh
Ekaterinburg, Russia
pan1944@rambler.ru

Key words: anthropogenic impact, pollution sources, bathymetric survey, sulfates, fluorides, catchment, secondary pollution, underground hydrosphere, soil testing, damage, mathematical model, space survey.

Operations devoted to integrated research of the sources of pollution for Seversk reservoir have been carried out. Hydrological, hydro/chemical, and hydro/biological characteristics of the reservoir, inflow tributaries, and local waste water discharges have been obtained. Bathymetric survey of the reservoir and bottom sediments sampling have been done. A laboratory experiment on assessment of bottom sediments impact upon the reservoir water quality has been conducted. Measures aimed at the Seversk reservoir rehabilitation have been developed.

Северское водохранилище, созданное в 1727 г. на южной окраине пос. Северского на р. Северушке для обеспечения работы Северского железодобывающего завода, многолетнего регулирования [1]. В настоящее время, согласно батиметрической съемке, при отметке воды 338,35 м имеет объем воды 11,15 млн м³. Максимальные глубины – 9 м, минимальные – 0,5 м. Объем донных отложений составляет 1,9 млн м³.

Объекты, сформировавшие техногенную зону и источники воздействия на состояние водных объектов и окружающей среды: шламовое хозяйство ОАО ПКЗ, станции нейтрализации и их прудки-отстойники, сухие отвалы гипса, прудки перехвата фильтрата, фенольные отстойники, отстойники фенольных фторсодержащих шахтных вод Гумешевского рудника, промплощадка ПКЗ, иловые карты очистных сооружений хозяйственно-бытовой канализации г. Полевского, Зюзельское колчеданное месторождение, Гумешевское месторождение, ОАО «Уралгидромедь».



 граница водосбора

Рис. 1. Северское водохранилище и площадь его водосбора.

Анализ характеристик гидрохимического состояния водохранилища по данным работы Института экологии растений и животных УрО АН СССР в 1990 г., и данным о качестве воды, сбрасываемой из водохранилища с 2004 по 2015 гг., показал значительное увеличение концентрации ионов магния, цинка, меди алюминия марганца, железа, сульфатов, фторид-ионов и в целом – минерализации в период с 2011 по 2014 гг. с постепенным снижением их содержания к настоящему времени.

Для оценки современного гидрохимического состояния водного объекта определялось содержание следующих компонентов: солесодержания, цветности, запаха, взвешенных веществ, хлорид-ионов, сульфат-ионов, фторид-ионов, фосфат-ионов, общего фосфора, перманганатной окисляемости, БПК₅, ХПК, нефтепродуктов, гидрокарбонат-ионов, азота общего, ионов аммония, нитрат-ионов, нитрит-ионов, ионов калия, натрия, кальция, магния, ионов металлов – марганца, меди, свинца, цинка, железа, алюминия, никеля, хрома общего, кадмия, фенолов.

Количество точек отбора проб воды в водохранилище – 7 (рис. 2). Количество отобранных проб воды – 49. В среднем пробы отбирали ежемесячно с мая по ноябрь 2016 г.

Количество водотоков, впадающих в водохранилище – 8 (рис. 2), количество отобранных проб воды – 56, количество замеров расхода воды на притоках – 56.

Наибольшую долю в оценку степени загрязненности воды вносят соединения меди, алюминия, железа, цинка, марганца, а также фенолы и фторид-ионы, сульфаты-ионы, кислоты. Гидрохимический анализ показал, что по величинам УКИЗВ вода в водохранилище характеризуется от 4 класса (очень грязная) до 5 класса (экстремально грязная).

Параллельно проводимые гидробиологические исследования показали:

– флора водохранилища характерна для региона и носит интразональный характер с преобладанием бореальных видов. В водохранилище выявлено 38 видов из 30 родов, 20 семейств и двух отделов.

Большая часть высшей водной растительности Северского водохранилища представлена редко и умеренно встречающимися видами. Только четыре вида характеризуется повсеместным распространением. В целом для северного рукава характерно более высокое таксономическое разнообразие макрофитов.

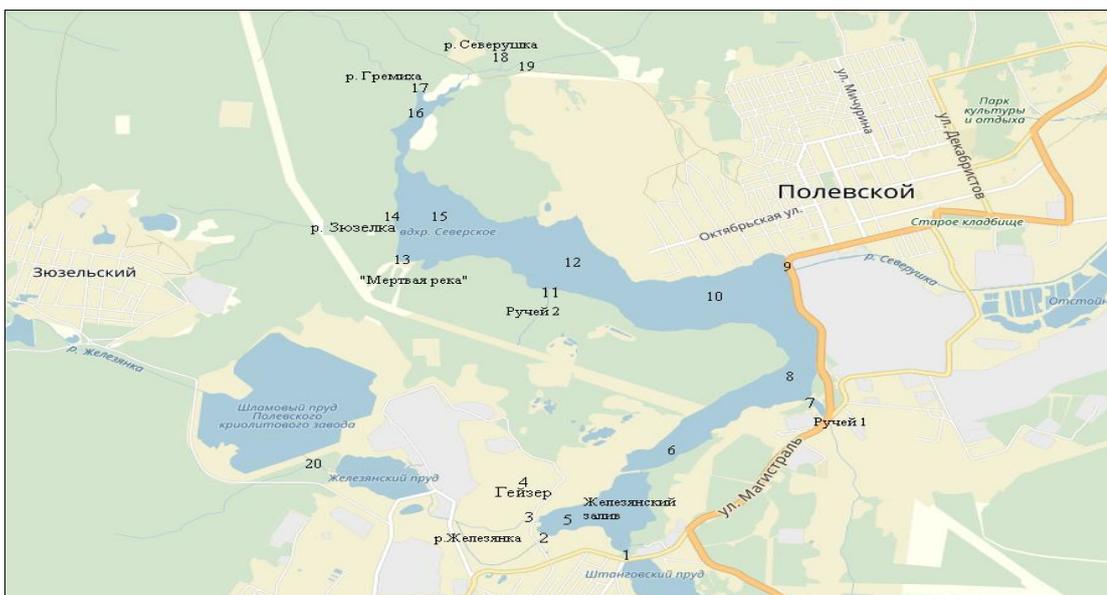


Рис. 2. Схема расположения створов отбора проб воды на Северском водохранилище и впадающих в него водотоков.

На водохранилище было зарегистрировано три вида водной растительности, занесенных в Красную книгу Свердловской области, состояние их популяций оценено как благополучное.

Северское водохранилище является водоемом слабого зарастания. В настоящее время общая площадь зарастания не превышает 15 % от площади водоема. Наиболее интенсивно зарастают устьевые участки рек Северушки, Гремихи, Зюзельки, Мертвой реки, Железянки. Значительно меньше зарастают мелководья береговой зоны открытой акватории водохранилища. Наблюдаются изменения в гидрофильных фитоценозах южного и северного рукава, что связано с двумя кислыми притоками Северского водохранилища – Зюзелька и Мертвая река.

По результатам анализа структуры доминирования и трофического состава макрозообентоса в исследованном за сезон вегетации бентоценозе можно выделить несколько крупных зон в Северском водохранилище.

Южный рукав Северского водохранилища – определяющим видом антропогенного воздействия на этот участок водоема является органическое загрязнение Железянского залива бытовыми сточными водами. Детритная цепь питания превалирует в южном рукаве Северского водохранилища на протяжении уже многих лет.

Северный рукав Северского водохранилища – определяющим облик и функционирование этого участка водоема является химическое загрязнение. Следствием этого стало уменьшение биологического разнообразия бентоценозов. В целом ацидофикация приводит к преобладанию пастбищных пищевых цепей, снижению скорости деструкции органического вещества и увеличению отношения P/R. Фауна южного рукава водохранилища отличается также обилием мобильных видов макрозообентоса, что характерно для водных экосистем с неблагоприятными условиями среды (изменение уровней воды, сильная эвтрофикация, антропогенное загрязнение).

Приплотинная зона Северского водохранилища – гидробиоценоз смешанного типа, имеющего признаки как северного, так и южного рукавов водохранилища. Можно утверждать, что экосистема Северского водохранилища находится в неизменном стабильном состоянии со времени его последнего масштабного обследования в 1986–1990 гг. В целом водоем принадлежит к категории «малокормных». В частности же, южный рукав более продуктивный, попадает в категорию «среднекормных» водных объектов, северный рукав – с очень низкой биомассой макрозообентоса, принадлежит к водоемам «малой» кормности.

Разделение водохранилища на три зоны подтверждается и гидрохимическим анализом проб воды.

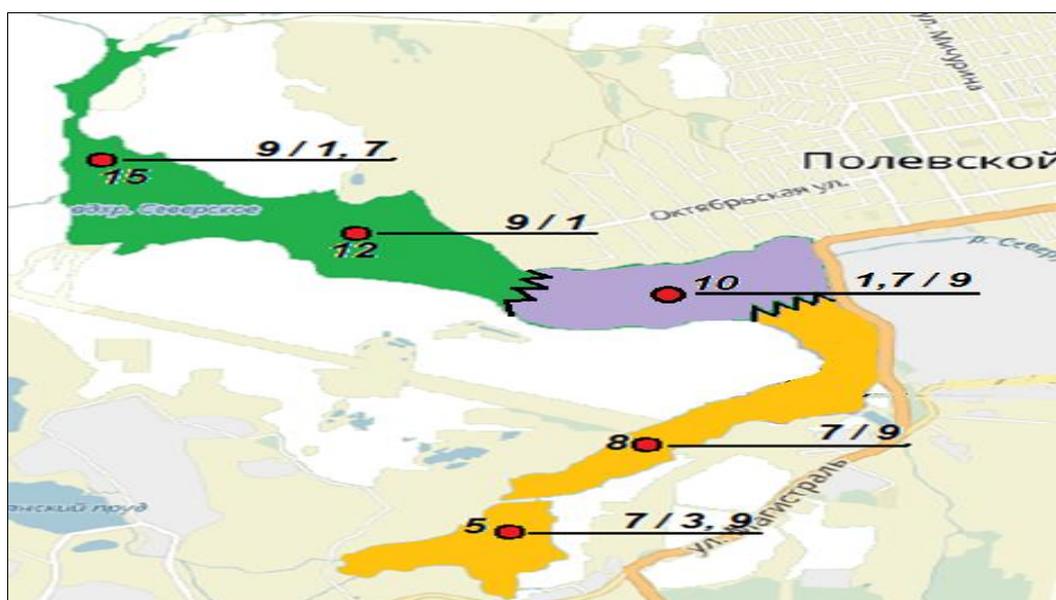


Рис. 3. Экологические зоны Северского водохранилища по доминированию трофических групп макрозообентоса: в числителе – номер трофических групп доминантов; в знаменателе – номера групп субдоминантов; ст. 5, 8 – экосистема пищевой цепи детритного типа; ст. 12, 15 – экосистема пищевой цепи пастбищного типа; ст. 10 – экосистема переходного типа со смешанными цепями питания.

Содержание хлорофилла в Северском пруду указывает на мозаичность степени развития фитопланктона, одного из важнейших агентов самоочищения, а его трофический статус в разных частях водоема варьировал от олиготрофно-мезотрофного до эвтрофно-политрофного. Соответственно, качество воды менялось от II класса – «чистой» до IV класса – «загрязненной» (оценка – по содержанию хлорофилла).

Максимум биомассы приходится на т. 12. Видовой состав зоопланктона Северского водохранилища насчитывает 16 видов и молодь всех обитающих в водоёме организмов. Из всего видового разнообразия 62 % видов занимают представители коловраток, 25 % – ветвистоусых и только 13 % – веслоногих рачков. По биомассе 60 % занимают ветвистоусые, 23 % - веслоногие, 13 % – коловратки, а также 2,2 % копеподит циклопов и 1,8 % – науплии.

Железьянский залив можно рассматривать как самостоятельный водный объект, в котором складываются специфические условия для развития определенных групп организмов северного рукава Северского водохранилища, в котором обитают преимущественно хищные виды, охотящиеся на своих жертв. Такие виды более приспособлены к выживанию в среде с высокой прозрачностью воды и низкой концентрацией органических веществ. Опираясь на исследования, проведенные в Железьянском заливе в 2006 г., можно проследить изменение видового состава организмов обитающих на данной территории с течением времени. Сравнив полученные данные, проведенные с 10-летним промежутком, можно утверждать, что водоем является стабильным, проявляет пластичность с постоянно меняющейся системой.

Результаты тестирования воды Северского водохранилища, отобранной на анализ в августе и сентябре 2016 г., по трем тест-объектам разного уровня экосистемной организации (хлорелла, стандартный метод на дафниях, рыбы) показали отсутствие как острой, так и хронической токсичности воды. Ни в одном из опытов тест-объекты не демонстрировали отклонения от контроля ни по поведению, ни по выживаемости и плодовитости. С точки

зрения токсикологии по состоянию на летний период 2016 г. вода Северского водохранилища отвечает требованиям экологической безопасности (табл. 1).

В водохранилище впадают притоки: водосброс из Штангового пруда; новое русло р. Железянки; старое русло р. Железянки; Мертвая река; р. Зюзелька; р. Гремиха; р. Северушка; ручей 2 (водоток периодического действия). Такие же водотоки периодического действия были обнаружены в ноябре при обследовании прибрежной зоны.

Из всех постоянно действующих водотоков в устьевых участках были отобраны пробы воды (по 7 проб в каждом) и на каждом произведены замеры расходов воды. Всего отобрано не менее 60 проб воды, которые проанализированы на содержание указанных выше ингредиентов.

Таблица 1. Результаты тестирования воды Северского водохранилища на токсичность по трем тест-объектам разного уровня экосистемной организации

Станции отбора проб	AlgaeToximeterII (хлорелла)	Стандартный метод на дафниях	ToxProtect 64 (рыбы)
Ст. 5	Не токсично	Не оказывает острого и хронического токсического действия	Не токсично
Ст. 8	Не токсично	–	Не токсично
Ст. 10	Не токсично	Не оказывает острого и хронического токсического действия	Не токсично
Ст. 12	Не токсично	Не оказывает острого и хронического токсического действия	Не токсично
Ст. 15	Не токсично	–	Не токсично

Для каждого притока определены количество внесенных за период наблюдения ингредиентов и показатели антропогенной нагрузки (ПАН), на основании которых выбирались объекты, оказывающие на состояние Северского водохранилища наибольший отрицательный эффект (табл. 2, 3).

На Северный рукав водохранилища наибольшее негативное воздействие оказывает Мертвая река и р. Зюзелька. Мертвая река: ПАН = 568639. Лимитирующие показатели воздействия – Al^{3+} , $Fe_{общ}$, F^- , Mn^{2+} , Cu^{2+} , помимо этого рН воды – 2,1–2,3; сульфатов поступило за наблюдаемый период 48 5609 кг. Фторидов поступило 51 618 кг, общее количество солей – 780 773 кг. Река Зюзелька: ПАН = 2196, Лимитирующие показатели воздействия – Cu^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , F^- , помимо этого рН воды – 3,99–5,26; сульфатов поступило за наблюдаемый период 249 056 кг.

На южный рукав водохранилища (Железянский залив) негативное воздействие оказывает старое русло р. Железянки и сток по новому руслу р. Железянки.

Старое русло р. Железянки: ПАН = 15397, лимитирующие показатели воздействия – Mn^{2+} , Cu^{2+} , $Fe_{общ}$, Zn^{2+} , помимо этого рН воды – 3,42–6,11, сульфатов поступило за наблюдаемый период 57 639 кг, фторидов 1995 кг. Новое русло р. Железянки: ПАН = 593, лимитирующие показатели воздействия – ХПК, Mn^{2+} , $N(NO_2^-)$, Al^{3+} , $Fe_{общ}$, $P_{общ}$, взвешенные вещества, рН, $N(NH_4^+)$, F^- .

Таблица 2. Количество поступающих веществ с водостоком перечисленных притоков

Водоток	Ингредиенты. Поступление в кг за исследуемый период														
	HCO ₃ ⁻	N(NH ₄ ⁺)	N(NO ₂ ⁻)	Mn ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe _{общ}	СС	SO ₄ ²⁻	F ⁻	ХПК	Al ³⁺	Фенолы	Средний расход за набл. период м ³ /с	рН (мин. – макс.)
Сток из Штангового пруда	94042,9	372,3	15,9	504,2	41,0	47,2	1061,7	200441,3	0,0	421,1	62791,1	43,6	6,10	0,120	6,87 ÷ 8,97
Железянка, новое русло	63018,8	475,3	91,5	272,7	11,0	21,1	224,5	287277,2	101238,9	1049,2	16037,9	43,6	1,6	0,023	7,81 ÷ 8,82
Железянка, старое русло	330,4	62,6	0,1	4469,8	221,9	607,5	4065,3	112184,1	57653,1	1995,4	26023,1	196,3	0,2	0,004	3,42 ÷ 6,11
Река Северушка	66 076,6	80,9	0,8	218,4	12,4	19,5	460,7	93853,4	0,0	204,2	16075,1	39,2	0,83	0,082	7,42 ÷ 8,04
Река Гремиха						22,6	351,5	87676,0	0,0	161,3	15664,0	19,2	0,7	0,039	7,59 ÷ 8,02
Мертвая река		336,7	0,6	1126,9	199,6	487,1	18454,7	780773,1	485609,3	51618,2	5358,9	52805,2	0,023	0,001	1,94 ÷ 2,17
Река Зюзелька		63,0	0,0	1080,1	774,6	248,4	115,1	486999,5	249056,0	1346,9	3329,9	240,4	0,5	0,026	3,99 ÷ 5,26

Таблица 3. Величины ПАН и лимитирующие показатели действия для выпадающих в Северское водохранилище водотоков

№ створа	Показатель	Месяц							ΣПАН за период наблюдений/ % от суммы ΣПАНов
		май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	
1 – водосток из Штангового пруда	ΣПАН за месяц, усл. м ³ /м ³	3,95	1,55	7,34	12,7	20,9	16,2	14,05	76,7 / 0,013%
	Лимитирующие показатели воздействия	ХПК, Fe _{общ} , Cu ²⁺	Cu ²⁺ , Mn ²⁺ , Fe _{общ}	ХПК, Mn ²⁺ , Al ³⁺	pH, ХПК, Cu ²⁺ , Mn ²⁺	Mn ²⁺ , Fe _{общ} , Cu ²⁺	Mn ²⁺ , Fe _{общ} , Al ³⁺	Mn ²⁺ , Fe _{общ} , Al ³⁺	
2 – новое русло р. Железянки	ΣПАН за месяц, усл. м ³ /м ³	31,4	70,1	50,3	157	37,3	173	74,3	593 / 0,101%
	Лимитирующие показатели воздействия	Взв. вещ., Mn ²⁺ , ХПК, pH, F ⁻	N(NO ₂ ⁻), Mn ²⁺ , N(NH ₄ ⁺)	N(NO ₂ ⁻), Al ³⁺ , Mn ²⁺	ХПК, Mn ²⁺ , N(NO ₂ ⁻), Al ³⁺ , Fe _{общ} ,	N(NO ₂ ⁻), Mn ²⁺ , P _{общ} , N(NH ₄ ⁺)	Mn ²⁺ , взв. вещ., Al ³⁺ , N(NH ₄ ⁺), Fe _{общ} ,	Al ³⁺ , Mn ²⁺ , N(NH ₄ ⁺), P _{общ}	
3 – старое русло р. Железянки	ΣПАН за месяц, усл. м ³ /м ³	5631	2502	1608	1498	516	1115	2527	15397 / 2,62%
	Лимитирующие показатели воздействия	Mn ²⁺ , Cu ²⁺ , Fe _{общ} , Zn ²⁺	Mn ²⁺ , Cu ²⁺ , Fe _{общ} , Zn ²⁺	Mn ²⁺ , Al ³⁺ , Fe _{общ}	Mn ²⁺ , Al ³⁺ , Fe _{общ}	Mn ²⁺ , Al ³⁺ , Fe _{общ}	Mn ²⁺ , Al ³⁺ , Cu ²⁺ , Fe _{общ}	Mn ²⁺ , Fe _{общ} , Al ³⁺ , Cu ²⁺	
13 – Мертвая река	ΣПАН за месяц, усл. м ³ /м ³	6836	6882	112084	129556	103135	90270	119606	568369 / 96,75%
	Лимитирующие показатели воздействия	Fe _{общ} , Mn ²⁺ , Cu ²⁺ , F ⁻ , Zn ²⁺	Fe _{общ} , Cu ²⁺ , Mn ²⁺ , Zn ²⁺	Al ³⁺ , Fe _{общ} , F ⁻ , Mn ²⁺ , Cu ²⁺	Al ³⁺ , Fe _{общ} , F ⁻ , Mn ²⁺ , Cu ²⁺	Al ³⁺ , Fe _{общ} , F ⁻ , Mn ²⁺ , Cu ²⁺	Al ³⁺ , F ⁻ , Fe _{общ} , Cu ²⁺ , Mn ²⁺	Al ³⁺ , F ⁻ , Fe _{общ} , Mn ²⁺ , Cu ²⁺	



Рис. 4. Створы отбора проб донных отложений Северского водохранилища:
 1 – район Железянского залива; 2 – 365 м от ул. Магистраль; 3 – центральная часть Северского водохранилища; 4 – 400 м от места впадения Мертвой реки; 5 – вблизи устья р. Зюзельки.

Исследован химический состав проб донных отложений Северского водохранилища и возможное вторичное загрязнение от них фосфат-ионами, общему фосфору, ионами аммония NH_4^+ , нитрат- и нитрит-ионами, по показателю БПК₅ и ХПК, соединениями железа(общ) и марганца(2+), меди (2+), цинка (2+).

Донные отложения значительно минерализованы (80 и более % содержания минеральной части). По акватории фрагментированы. Некоторые из них (например, донные отложения Южной части Железянского залива) являются источниками вторичного загрязнения. В целом донные отложения для водохранилища на фоне других источников поступления ингредиентов как источник вторичного загрязнения опасности не представляют.

В связи с полученными результатами выбор направления реабилитирующих мероприятий для Южной и Северной части необходимо проводить отдельно, поскольку воздействующие на них объекты генетически различаются.

Впадающих в Северный рукав водохранилища водотоков, связанных с техногенным фактором, являющихся источником химического загрязнения, имеющих высокий показатель ПАН – два: Мертвая река и р. Зюзелька. Предлагаемое мероприятие для устранения влияния данной зоны загрязнения – применение геохимических методов (нейтрализации на известняке) и аэробных искусственных водно-болотных угодий (биоплато), на которых будут очищаться воды Мертвой реки и р. Зюзельки. На ботанической площадке в летне-осенний период ориентировочно задержится: марганца(2+) – 1918 кг; меди(2+) – 832 кг; цинка(2+) – 624 кг; железа общ – 15784 кг; фторид-ионов – 15889 кг; сульфат-ионов 220638 кг из поступивших за период наблюдения. Уменьшение концентрации указанных ингредиентов в воде водоема произойдет на г/м^3 : марганца(2+) – 0,16, меди(2+) – 0,069, цинка(2+) – 0,052, железа общ – 1,315, фторид-ионов – 1,32, сульфат-ионов – 18. В период зимней межени извлечение металлов увеличится \approx на 8–10 %. Достоверные данные по снижению концентраций анионов в зимний период отсутствуют.

Необходима также рекультивация рудного поля вблизи пос. Зюзелька, образовавшегося в результате работы карьера по добыче колчеданных руд и шахт по добыче медной руды.

Впадающих в Южный рукав водохранилища водотоков, связанных с техногенным фактором и имеющих высокий показатель ПАН – два: р. Железянка (старое русло) и р. Железянка (новое русло). Для снижения загрязнения Южного залива со стороны Гумешевского месторождения необходимо дамбу сделать более непроницаемой, весь сток из старого русла Железянки забрать в Южный провал и откачивать на нейтрализацию воды столько, чтобы не возникало разгрузки в старое русло. Откачиваемую воду нейтрализовать и через отстойник сбрасывать непосредственно в Южный рукав водохранилища, часть которого необходимо превратить в ботаническую площадку для доочистки поступающих в него вод от соединений металлов, фторидов, сульфатов, соединений групп азота и фосфора. Последние поступают в значительном количестве со стоком по новому руслу р. Железянки. Сброс нейтрализованной воды можно организовать в новое русло р. Железянки.

Для устройства ботанической площадки Южный рукав необходимо очистить от донных отложений, на 80 % состоящих из минеральной составляющей, увеличить среднюю глубину. Количество изымаемых донных отложений составит 59 000 м³. Ботаническую площадку для лучшего перемешивания потоков предлагается создать со струенаправляющими дамбами. Необходима и рекультивация техногенных образований на южной части территории водосбора водохранилища: ≈ 125 га земель, загрязненных отходами химической промышленности и ≈ 7 га территории заброшенного посёлка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрологическая изученность. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 11. Средний Урал и Приуралье, вып. 1, Кама. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1966. 324 с.

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

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

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

Иманова Валентина Владимировна, научный сотрудник, сектор технического регулирования водопользования, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), 620049, Россия, Екатеринбург, ул. Мира 23.

Фоминих 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.