

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПАВЛОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2018 г. Р. Ф. Абдрахманов, А. О. Полева, С. А. Валитов

Реферат. В статье анализируются результаты многолетних исследований Павловского водохранилища на р. Уфа. Водоохранилище построено в 1959–61 гг. на сильно закарстованных породах. В ходе исследований изучались особенности ионно-солевого, микрокомпонентного, газового составов воды водохранилища, переработка берегов, изучалась также геохимия донных отложений, выполнены натурные экспериментальные исследования по влиянию затопленной древесины на качество воды. Химический состав речных и подземных вод в регионе обусловлен составом пород, слагающих водосборы этих рек. Большая часть водосбора в верховьях, где происходит питание рек, сложена слабо растворимыми верхнепротерозойскими, нижнепалеозойскими метаморфическими (в пределах Уральских гор) и нижнепермскими осадочными карбонатно-терригенными (Уфимское плато) породами. И лишь в пределах Юрюзано-Айского понижения в речную сеть разгружаются подземные воды с минерализацией до 2 г/дм³, обогащенные сульфатом кальция, из нижнепермских карбонатно-сульфатных пород. Химический состав воды Павловского водохранилища на всем его протяжении исключительно однороден и характеризуется сульфатно-гидрокарбонатным составом с минерализацией 0.2–0.4 г/дм³. Основными источниками поступления в водохранилище техногенных веществ являются: сельскохозяйственные, коммунальные, промышленные стоки Челябинской, Свердловской, Пермской областей и Башкортостана, водный транспорт, затопленная древесина, и др. Проведенные нами натурные экспериментальные исследования показали, что при попадании древесины в воду на фоне возрастания ХПК и БПК₅ происходит резкое снижение концентрации O₂ и повышение концентрации CO₂ в воде, а также увеличение содержания ионов NH₄⁺, NO₂⁻ и NO₃⁻. Максимальные объемы загрязняющих веществ от затопленной древесины поступают в первые 2–4 года нахождения ее в воде. По численности фитопланктона водоем относится к мезотрофным, по биомассе — к эвтрофным и высокоэвтрофным. В водохранилище сформировалась в основном β-мезосапробная зона. В химическом составе воды отмечены значительные концентрации тяжелых металлов (медь, цинк, железо, никель, хром, мышьяк, ртуть и др.). Поступление их главным образом связано со сбросом стоков промышленными предприятиями Челябинской и Свердловской областей в реки Уфа, Юрюзань, Ай. Результаты многолетних мониторинговых эколого-гидрохимических, гидробиологических исследований ориентированы на охрану и рациональное использование водных ресурсов Павловского водохранилища, т.к. ниже по течению расположены водозаборы г. Уфы и других населенных пунктов.

Ключевые слова: водохранилище, гидрохимия, донные отложения, экологическое состояние, антропогенное загрязнение, биогенные элементы, затопленная древесина

FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF WATER AND BOTTOM SEDIMENTS OF THE PAVLOVSKOE RESERVOIR

R. F. Abdrakhmanov, A. O. Poleva, S. A. Valitov

Abstract: The article analyzes the results of long-term studies of Pavlovskoe reservoir on Ufa river. The reservoir was built in 1959–61 on strongly karstified substrate. In the course of the research, the peculiarities of the ionic salt, microcomponents, gas composition of the reservoir water, coastal processes were studied, geochemistry of bottom sediments was also studied, and full-scale experimental studies were conducted

Для цитирования: Абдрахманов Р.Ф., Полева А.О., Валитов С.А. Формирование химического состава воды и донных отложений Павловского водохранилища // Геологический вестник. 2018. №3. С. 124–136. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-9>.

For citation: Abdrakhmanov R.F., Poleva A.O., Valitov S.A. Formation of the chemical composition of water and bottom sediments of the Pavlovskoe reservoir // Geologicheskii vestnik. 2018. No.3. P. 124–136. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-9>.

on the effect of flooded timber on the quality of water. Geochemistry of river and groundwater in the region is due to the composition of the rocks that form the catchments of these rivers. Most of the catchment in the upper reaches, where the rivers feed, is composed of poorly soluble Upper Proterozoic, Lower Paleozoic metamorphic (within the Ural Mountains) and Lower Permian sedimentary carbonate-terrigenous (Ufa plateau) rocks. And only within the Yuruzan-Ai depression, groundwater with mineralization up to 2 g/dm^3 enriched with calcium sulphate, from the Lower Permian carbonate-sulphate rocks, is discharged into the river network. The chemical composition of the water of Pavlovskoe reservoir is extremely homogeneous throughout its entire length and is characterized by sulfate-hydrocarbonate composition with a salinity of $0.2\text{--}0.4 \text{ g/dm}^3$. The main sources of inputs into the reservoir of man-made substances are agricultural, municipal, industrial effluents of the Chelyabinsk, Sverdlovsk, Perm and Bashkortostan provinces, water transport, flooded wood, etc. The field experiments conducted by us have shown that when wood enters the water against the background of an increase in COD and BOD_5 there is a sharp decrease in O_2 concentration and an increase in the concentration of CO_2 in water, as well as an increase in the content of NH_4^+ , NO_2^- and NO_3^- ions. The maximum volume of pollutants from flooded wood comes in the first 2–4 years of its presence in the water. By the number of phytoplankton, the reservoir refers to mesotrophic, from biomass to eutrophic and highly eutrophic. In the reservoir, the β -mesosaprobic zone was mainly formed. The chemical composition of water indicates significant concentrations of heavy metals (copper, zinc, iron, nickel, chromium, arsenic, mercury, etc.). Their arrival is mainly connected with the discharge of sewage by industrial enterprises of the Chelyabinsk and Sverdlovsk regions into the river Ufa, Yuruzan, Ai. The results of long-term monitoring ecological-hydrochemical, hydrobiological research, are oriented to the protection and rational use of the water resources of the Pavlovskoe reservoir, because downstream there are water intakes of Ufa and other settlements.

Keywords: reservoir, hydrochemistry, bottom sediments, ecological state, anthropogenic pollution, biogenic elements, flooded wood

Введение

Павловское водохранилище, одно из крупных водохранилищ на Южном Урале, расположено на р. Уфе в пределах Уфимского плато. Оно руслового типа, протяженностью 150 км (рис. 1). Это первое водохранилище в СССР, построенное в 1959–61 гг. на сильно закарстованных породах [Лыкошин, 1959].

В пределах этого водохранилища долина р. Уфы прорезает юго-западную часть Уфимского плато, сложенного известняками и доломитами раннепермского возраста. Поверхность плато расчленена сетью глубоковрезанных (до 180–200 м) речных долин и временных водотоков.

Для таких водохранилищ характерны [Ломтадзе, 1977; Абдрахманов, 1991]:

- значительная глубина и малая ширина;
- высокие, большой крутизны склоны, часто представляющие собой обрывы, отвесные стенки;
- сравнительно небольшая площадь водной поверхности;
- большая величина сработки уровней;
- небольшая высота ветровых волн вследствие малой длины разгона; активизация современных геологических процессов (обвалы, карст, осыпи и пр.) вследствие периодического и значительно колебания уровня воды в водохранилище;
- сравнительно малая интенсивность процессов переработки берегов, т.к. они сложены прочны-

ми и неразмываемыми скальными и полускальными породами;

- малая роль вдольбереговых течений в формировании рыхлого материала в береговой зоне, вследствие значительной крутизны и расчлененности берегов и изменчивости направления и скорости ветров и пр.

Объект, материалы и методы исследования

Полный объем водохранилища составляет 1.4, а полезный — 0.95 млрд m^3 . Оно обеспечивает сезонное, недельное и суточное регулирование стока р. Уфы, аккумулируя до 16% весеннего расхода. Площадь водосбора р. Уфы в створе водохранилища составляет 47.1 тыс. km^2 , что равняется 89% водосбора реки. Площадь зеркала водохранилища равняется 116 km^2 при максимальной ширине 1750 м (средняя — 770 м) и глубине 35 м в приплотинной части (средняя 12 м). Годовая амплитуда колебания уровня воды равняется 11 м. Наполнение водохранилища происходит в апреле — мае, а сработка начинается в январе и продолжается до 140 дней. Максимальный спад уровня — 9.5 см/сут. Нормальный подпорный уровень водохранилища — 140 м. Уклон водной поверхности в нижнем течении составляет 4.4×10^{-6} . До строительства водохранилища (1941 г.) минимальный среднемесячный расход реки в год 95% обеспеченности оценивался в $63 \text{ m}^3/\text{с}$; в настоящее

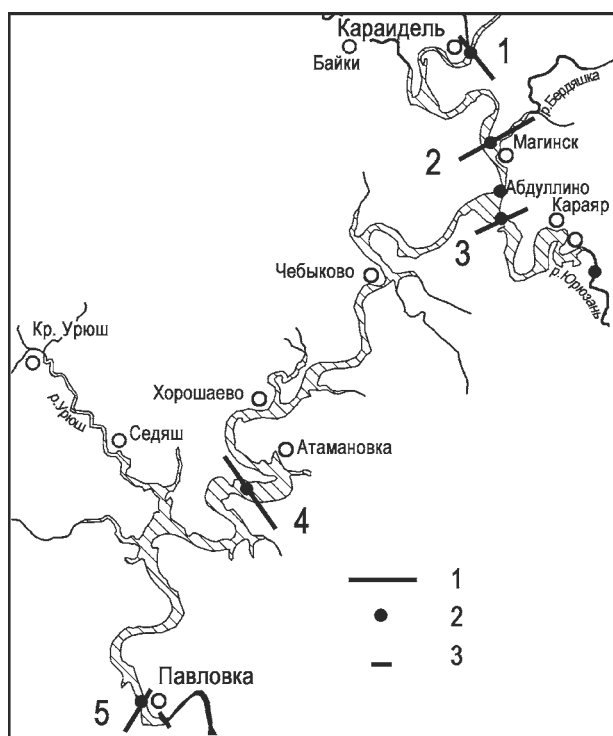


Рис. 1. Схема Павловского водохранилища на р. Уфе

Условные обозначения: 1 — гидрохимические створы водохранилища 2 — места отбора проб донных отложений; 3 — створ плотины.

Fig. 1. Scheme of the Pavlovskoe Reservoir on the Ufa River

Legend: 1 — hydrochemical sections of the reservoir 2 — sites for sampling bottom sediments; 3 — dam gate.

время в створе гидроузла он равен $120 \text{ м}^3/\text{с}$ [Абдрахманов, 1991].

Первые достаточно детальные полевые гидрохимические исследования Павловского водохранилища выполнены нами в 1986–1987 гг. [Абдрахманов, Данилов, Полева и др. «Влияние хозяйственной деятельности на качество водных ресурсов Павловского водохранилища», 1987 г.]. В ходе исследований изучались особенности ионно-солевого, микрокомпонентного, газового составов воды водохранилища¹ (более 500 анализов),

¹ Систематизация химического состава произведена на базе классификации Алекина–Посохова [Алекин, 1970]. В соответствии с ней, при соблюдении неравенства $\text{гCl} < \text{гNa}$, выделяются тип I (гидрокарбонатный натриевый или содовый) с соотношением $\text{гHCO}_3 > \text{гCa} + \text{гMg}$ и тип II (сульфатный натриевый) с соотношением $\text{гHCO}_3 < \text{гCa} + \text{гMg}$. В случае, когда $\text{гCl} > \text{гNa}$, выделяются тип III а (хлормагнийный) с соотношением $\text{гCl} < \text{гNa} + \text{гMg}$ и тип III б (хлоркальциевый) с соотношением $\text{гCl} > \text{гNa} + \text{гMg}$. Если в воде концентрация HCO_3 равна нулю, то она относится к типу IV. Наименование водам дается по преобладающим анионам и катионам в порядке их возрастания. Преобладающими считаются ионы, содержащиеся в количестве 20% и более при условии, что сумма анионов и катионов равна 100% в отдельности.

переработка берегов. В 1987–2008 гг. и в 2012 г. нами изучалась также геохимия донных отложений. Натурные экспериментальные исследования по влиянию затопленной древесины на качество воды выполнены в 2007 г. на Юмагузинском водохранилище А.О. Полевой под руководством Р.Ф. Абдрахманова.

Аналитические работы произведены в лабораториях аналитического центра ФГУ по мониторингу водных объектов бассейнов рек Белой и Урала, Республиканской СЭС, ПГО «Башкиргеология», института «Башгипроводхоз», «Башгидромета», и др. Исследования автотрофного фитопланктона и бентоса проводились А.О. Полевой в 2003, 2007–11 гг. на аналитической базе Башгосунiversитета. Химический состав, содержание тяжелых металлов донных отложений проанализированы в лабораториях ИГ УФИЦ РАН.

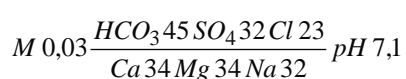
Формирование химического состава воды

Химический состав воды Павловского водохранилища формируется под влиянием природных и техногенных факторов. Природные факторы формируют общий химический (макро- и микрокомпонентный) состав и, как следствие, минерализацию воды. Влияние техногенеза в целом слабо отражается на макрокомпонентном составе, и наоборот — микрокомпонентный состав в настоящее время почти всецело определяется им [Абдрахманов, 1991, 1994]. В значительной степени химический состав воды определяется составом вод рек, питающих водохранилище — Ай, Юрюзань, Сарс, Тюй, Урюш, а также ряд более мелких притоков. Значительна роль в этом также подземных карстовых вод, разгружающихся непосредственно в водохранилище.

Химический состав речных и подземных вод обусловлен составом пород, слагающих водосборы этих рек. Большая часть водосбора в верховьях, где происходит питание рек, сложена слаборастворимыми верхнепротерозойскими, нижнепалеозойскими метаморфическими (в пределах Уральских гор) и нижнепермскими осадочными карбонатно-терригенными (Уфимское плато) породами. И лишь в пределах Юрюзано-Айского понижения в речную сеть разгружаются подземные воды с минерализацией до $2 \text{ г}/\text{дм}^3$, обогащенные сульфатом кальция, из нижнепермских карбонатно-сульфатных пород.

На геохимический облик подземных вод зоны гипергенеза, кроме ландшафтно-климатических

особенностей, решающее влияние оказывает минеральный состав водовмещающих пород, дренируемых реками в пределах местных областей питания и разгрузки. Наименее минерализованные ультрапресные воды (M 30–80 мг/дм³) характерны для геохимически малоактивных сред: кварцитов, кварцевых песчаников, кремнистых и слюдинокварцевых сланцев. Содержание в породах SiO₂ достигает 70–95%. Однако при их выщелачивании в нормальных *PT*-условиях вследствие очень низкой растворимости кремнезема (n мг/дм³) силикатные или силикатно-гидрокарбонатные воды не образуются. Циркулирующие в этих породах воды имеют сульфатно-гидрокарбонатный, гидрокарбонатный, реже хлоридно-гидрокарбонатный или смешанный (трехкомпонентный) анионный состав. Среди катионов преобладают кальций и натрий, нередко к числу главных ионов (>20%) принадлежит и магний. Солевой состав большинства проб ультрапресных вод представлен Ca(HCO₃)₂ и Mg(HCO₃)₂ (до 50–70%). В водах всегда присутствуют сульфаты в количестве 10–30, иногда до 60%. Основной вклад в формирование минерализации этих ультрапресных вод вносит гидрокарбонатный ион (10–50 мг/дм³), который имеет в основном биохимическую природу. Значимую роль в поступлении других ионов, содержащихся в невысоких концентрациях, играют атмосферные осадки. Воды чаще всего относятся к типу II, реже — IIIа или I, но выраженному слабо (NaHCO₃ <15%). Иллюстрацией сложного химического состава вод служит источник, вытекающий из кварцитов верхнего протерозоя:



Таким образом, гидролитические процессы в алюмосиликатных и силикатных породах Южного Урала, где происходит формирование химического состава и питание речных вод, ведут к образованию гидрокарбонатных вод разнообразного катионного состава с низкой минерализацией. Среди них более простой (монокатионный) состав обычно имеют гидрокарбонатные магниевые, реже кальциевые воды. Следствием гидролитических процессов служат каолиновые коры выветривания по магматическим и метаморфическим породам алюмосиликатного состава [Абдрахманов, Попов, 2010; Попов, Абдрахманов, 2013; Абдрахманов, 2014].

В Центрально-Уральском поднятии трещино-карстовые воды приурочены к известнякам

и доломитам миньярской, катавской, авзянской и саткинской свит рифея (Башкирский бассейн), а также к карбонатным отложениям нижней перми на Уфимском плато. Карст здесь относится к классу покрытого или подэлювиально-делювиального. Проникновение инфильтрующихся атмосферных осадков в карбонатные толщи, в отличие от голого карста, происходит через почвы и глинистые породы зоны аэрации, способствующие, как указывалось, генерации биохимического CO₂ и усилению агрессивности вод.

В геохимическом отношении карстовые воды Башкирского бассейна мало чем отличаются от таковых Уфимского плато. Они обычно имеют минерализацию 0.2–0.4 г/дм³, гидрокарбонатный кальциевый и магниевый-кальциевый состав. Отличительной же чертой их служит то, что при разгрузке в карстовые бассейны вод из окружающих магматических и метаморфических образований появляются воды с химическим составом, не свойственным карбонатным породам. Так, в Белорецком карстовом бассейне в зоне литолого-гидрогеохимического влияния ультрабазитов трещинно-карстовые воды карбонатных толщ приобретают гидрокарбонатный магниевый состав. В отдельных случаях в известняковых толщах также обнаруживаются воды содового типа, изначально формирующиеся в алюмосиликатных породах.

Химический состав воды Павловского водохранилища на всем его протяжении (от с. Муллакаево до пос. Павловка) исключительно однороден и характеризуется сульфатно-гидрокарбонатным составом (табл. 1).

По классификации Алекина – Посохова вода Павловского водохранилища относится к типу II. Минерализация ее в верховье (с. Муллакаево), где начинается подпор на р. Уфе, составляет 0.41 г/дм³. Вниз по течению минерализация воды постепенно снижается и у плотины (пос. Павловка) она не превышает 0.21–0.26 г/дм³, т.е. происходит двукратное разбавление. В пределах наиболее глубокой части водохранилища минерализация в течение года меняется незначительно: 0.21 весной и 0.36 г/дм³ зимой. В весеннее время в заливах крупных рек (Уфа, Юрюзань) и устьях небольших — минерализация снижается до 0.11–0.13 г/дм³ при неизменном химическом составе.

Содержание основных ионов (мг/дм³): гидрокарбонат — 117.8–220.0; сульфат — 37.1–86.4; хлор — 3.5–7.3; кальций — 40.3–76.0; магний — 7.3–19.4, натрий и кальций — 4.8–9.7. Из биогенных элементов отмечено присутствие в воде

аммонийного азота (0.1–0.3 мг/дм³), нитратов (1–3.6 мг/дм³). По данным Башгидромета в отдельные годы содержание азота аммонийного составляло 3 иногда 17 ПДК, азота нитритного 1–10 ПДК.

Вода слабощелочная (рН — 7.6–8.3). Окислительно-восстановительные условия характеризуются величиной Eh +279 мВ в верхней зоне водохранилища, +115 мВ в средней; в придонной зоне и в

Таблица 1

Химический состав воды Павловского водохранилища

Table 1

The chemical composition of the water of the Pavlovskoe reservoir

№ п/п	Место отбора	Глубина, м	рН	М, г/дм ³	Ингредиенты, мг/дм ³ , мг-экв, %-экв						Индекс состава
					НСО ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	
1	Муллакаево	3,0	7,75	0,41	220	83,4	7,1	71,7	19,4	9,0	<i>SC^{MgCa}_{II}</i>
					3,6	1,74	0,20	3,58	1,60	0,39	
					64,8	31,2	3,6	64,3	28,7	7,0	
2	Караидель	3,0	7,70	0,41	215	86,7	6,9	76,0	15,9	9,7	<i>SC^{MgCa}_{II}</i>
					3,53	1,80	0,19	3,76	1,31	0,42	
					64,0	32,6	3,4	68,5	23,9	7,6	
3	Залив р.Байки	2,0	7,80	0,37	200,8	71,3	7,0	66,3	15,8	9,0	<i>SC^{MgCa}_{II}</i>
					3,29	1,49	0,2	3,31	1,30	0,39	
					65,8	29,8	4,0	66,2	26,0	7,8	
4	Залив р.Юрюзань	3,5	7,65	0,34	203	45,6	7,4	60,1	14,5	6,9	<i>SC^{MgCa}_{II}</i>
					3,32	0,95	2,1	3,0	1,19	0,3	
					73,8	21,1	4,7	66,8	26,5	6,7	
5	Хорошаево	5,0	7,65	0,33	176,3	65,3	7,0	64,3	11,0	8,0	<i>SC^{MgCa}_{II}</i>
					2,89	1,36	0,2	3,2	0,9	0,35	
					64,8	30,5	4,5	72,0	20,2	7,8	
6	Залив р.Калтаса	6,0	7,70	0,27	145,8	52,8	7,1	50,3	11,0	6,2	<i>SC^{MgCa}_{II}</i>
					2,39	1,10	0,2	2,51	0,9	0,27	
					64,8	29,8	5,4	68,0	24,4	7,6	
7	0,5 км выше плотины правый берег	0,5	8,25	0,25	139,1	46,1	7,0	44,3	11,0	7,6	<i>SC^{MgCa}_{II}</i>
					2,28	0,96	0,2	2,21	0,90	0,33	
					66,3	27,9	5,8	64,2	26,2	9,6	
8	0,5 км выше плотины правый берег	10,0	7,95	0,25	148,3	43,7	6,7	48,7	9,9	6,4	<i>SC^{MgCa}_{II}</i>
					2,43	0,91	0,19	2,43	0,81	0,28	
					68,8	25,8	5,4	69,0	23,0	8,0	
9	Середина	0,5	8,25	0,25	141,0	45,1	7,1	43,9	12,1	6,0	<i>SC^{MgCa}_{II}</i>
					2,31	0,94	0,2	2,19	1,0	0,16	
					66,9	27,3	5,8	63,5	29,0	7,5	
10	Середина	12,0	8,10	0,25	137,3	48,5	7,1	47,9	9,7	6,2	<i>SC^{MgCa}_{II}</i>
					2,25	1,01	0,2	2,39	0,8	0,27	
					65,0	29,2	5,8	69,1	23,1	7,8	
11	Левый берег	0,5	8,3	0,24	128,1	50,4	7,1	44,1	11,0	6,0	<i>SC^{MgCa}_{II}</i>
					2,1	1,05	0,2	2,20	0,9	0,26	
					62,7	31,3	6,0	65,5	26,8	7,7	
12	Левый берег	10,0	8,15	0,26	134,4	53,3	6,9	46,1	11,0	6,4	<i>SC^{MgCa}_{II}</i>
					2,17	1,11	0,2	2,30	0,9	0,28	
					62,2	31,8	5,7	66,1	25,9	8,0	

слабых неуплотненных илах (июль) Eh снижается до +7...–65 мВ. В придонной зоне (илах) отмечается запах сероводорода от слабого до сильного. Соответственно меняется содержание кислорода (рис. 2). Концентрация растворенного кислорода в поверхностных условиях колеблется (мг/дм^3) от 6.66 до 16.3 (средняя 11.97 ± 0.13), а ХПК от 7.62 (зимняя межень) до 69 мг/дм^3 (летняя). Наблюдается изменение содержания кислорода с глубиной. Концентрация его в летнее время уменьшается от 10.71 мг/дм^3 (на глубине 1 м), до 5.04 (18 м), а в придонной части близка к нулю, чем по нашим наблюдениям в отдельные годы вызвана гибель донных рыб.

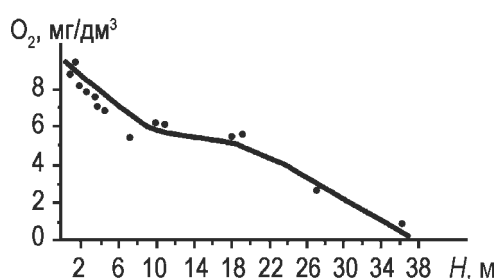


Рис. 2. График зависимости содержания кислорода от глубины в воде Павловского водохранилища

Fig. 2. O₂ concentration vs. depth in the Pavlovskoe Reservoir

Основными источниками поступления в водохранилище техногенных веществ являются: сельскохозяйственные, коммунальные, промышленные стоки Челябинской, Свердловской, Пермской областей и Башкортостана, затопленная древесина и др.

Нашими исследованиями 1986–87 гг. было определено, что общее количество биогенных элементов от сельского хозяйства, попадающих ежегодно в водохранилище — 15700 т, в т.ч. азота — 8300, фосфора — 1900, калия — 5500. В виде коммунально-бытовых стоков при общем количестве населения около 0.5 млн чел. в водохранилище поступало 252 т азота, 111 т фосфора и 56 т калия. Общая сумма равнялась 419 т. Оценить объемы их за последние годы затруднительно, т.к. комплексных работ по оценке хозяйственной деятельности изучаемого региона не проводилось.

В бассейне Павловского водохранилища многие годы практиковался молевой сплав древесины, по акватории водохранилища транспортировка леса осуществлялась в плотках. Такой вид транспортировки древесины традиционно сопровождается потерями (были случаи затопления плотов цели-

ком). По нашим данным, объем затопленной древесины составляет около 0.8–1 млн м³. В 1991 г. (в том числе благодаря нашим исследованиям) сплав древесины в бассейне Павловского водохранилища был прекращен. В последние годы объемы лесозаготовок и лесопереработки в этом районе снизились, некоторые предприятия закрыты.

Проведенные нами натурные экспериментальные исследования по воздействию затопленной древесины на качество воды [Абдрахманов и др., 2008, 2014; Полева, 2009] показали, что древесина при попадании в воду оказывает существенное влияние на газовый режим водоема и поступление в него биогенных веществ (рис. 3, 4). При попадании древесины в водную среду на фоне возрастания ХПК и БПК₅ происходит резкое снижение концентрации O₂ и повышение концентрации CO₂ в воде. В начальный период затопленная древесина вызывает увеличение содержания ионов NH₄⁺, NO₂⁻ и NO₃⁻.

Максимальные объемы загрязняющих веществ от затопленной древесины поступают в первые 2–4 года нахождения ее в воде. Затем интенсивность поступления загрязняющих веществ замедляется. Результаты исследований влияния затопленной древесины на водную среду отмечены как важнейшие научные достижения РАН (по Отделению Наук о Земле, 2008): «...Сформулированы основные закономерности формирования гидрологического и гидрохимического режимов водохранилищ Уральского региона в начальный период эксплуатации. Выявлено, что влияние затопленной древесной растительности на гидрохимический режим ... имеет место в течение не менее 20 лет...».

Поступление в водоемы биогенных элементов, которые в большинстве случаев являются лимитирующими для водной растительности, вызывает бурный рост первичной биопродукции в водоемах и резкое ухудшение качества воды.

Прозрачность воды в течение года меняется от 0.9–1.5 (весной и летом) до 3–4 м (осенью). Весной прозрачность падает из-за поступления большого количества взвешенных частиц, а летом — в результате массового размножения в фитопланктоне цианопрокариот из родов *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria*. Это резко снижает санитарно-гигиенические свойства водоема. Качество воды ухудшается в основном за счет перегрузки его органическим веществом автотонного происхождения и наличия специфических токсинов, которые выделяются синезелеными водорослями в процессе жизни и при их отмирании.

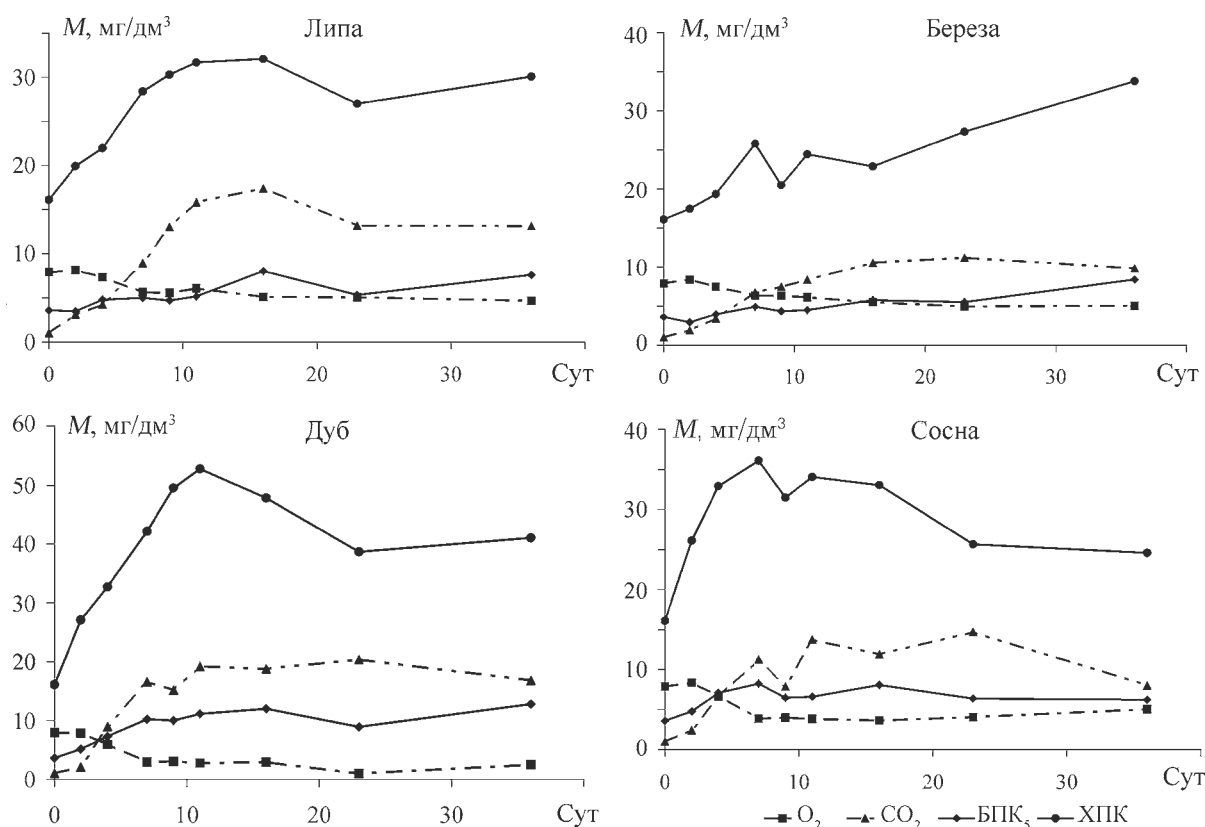


Рис. 3. Динамика концентрации O₂, CO₂, БПК₅, ХПК в опытах с древесной растительностью (СУТ — суток)

Fig. 3. Concentration dynamics of O₂, CO₂, BOD₅, and COD experiments with wood vegetation (СУТ — days)

За период исследования — 2003—2009 гг. в фитопланктоне нами выявлено 153 вида и внутри-видовых таксона (ввт) водорослей и цианопрокариот из 90 родов, 47 семейств, 24 порядков, 10 классов и 7 отделов [Полева, 2009; Абдрахманов и др., 2014]. Средняя численность автотрофного планктона в водохранилище в вегетационный период составила (тыс. кл/дм³): в 2008 г. — 5384, в 2009 г. — 14377. По численности водоем относится к мезотрофным. В 2008 г. средняя биомасса составила 6.4 г/м³, в 2009 г. — 19.5 г/м³. По биомассе в 2008 г. относился к эвтрофным, в 2009 г. — к высокоэвтрофным. В водохранилище сформировалась в основном β-мезосапробная зона. В 2008 г. индекс сапробности по численности в среднем составил 2.09 ± 0.09 , по биомассе 1.82 ± 0.05 . В 2009 г. по численности — 1.25 ± 0.25 , по биомассе 1.80 ± 0.10 . В автотрофном бентосе Павловского водохранилища нами было выявлено 76 видов и ввт. Ведущими по числу видов являются отделы Bacillariophyta — 49 и Суанорокариота — 13 видов и ввт.

В химическом составе воды отмечены значительные концентрации тяжелых металлов (медь,

цинк, железо, никель, хром, мышьяк, ртуть, соединения серы). Поступление их главным образом связано со сбросом стоков промышленными предприятиями Челябинской и Свердловской областей в реки Уфа, Юрюзань, Ай (табл. 2). Как видно из таблицы, наиболее крупными загрязнителями являются предприятия городов Златоуста, Катав-Ивановска, Уфалея, Юрюзани и др. [Абдрахманов и др., 1987 г.]. Выполненными Башгидрометом в последние годы наблюдения отмечено устойчивое превышение ПДК меди и цинка до одного, иногда до двух порядков на гидропостах Караидель, Абдуллино, Павловка.

Сброс в последние годы в связи с остановками промышленных предприятий значительно сократился. Но актуальные данные по этим компонентам оценить затруднительно.

В отличие от органических загрязняющих веществ, подверженных в той или иной мере степени деструкции, тяжелые металлы не способны к подобным превращениям. Они могут лишь перераспределяться между отдельными компонентами водных экосистем — водой, донными отложениями

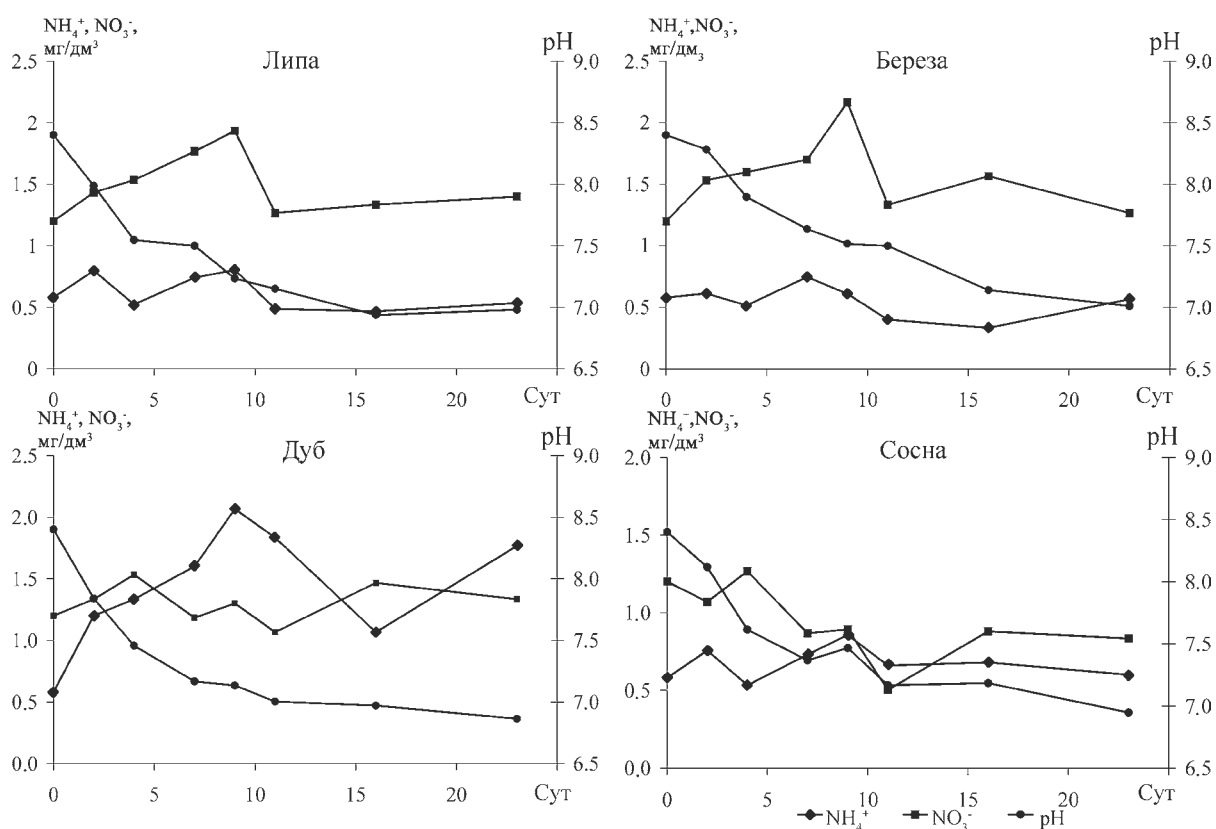


Рис. 4. Динамика биогенных элементов (NH_4^+ , NO_3^-) и pH в опытах с древесной растительностью (СУТ — суток)

Fig. 4. Dynamics of biogenic elements (NH_4^+ , NO_3^-) and pH in experiments with wood vegetation (СУТ — days)

и биотой. Поэтому их необходимо рассматривать как постоянно присутствующие в экосистеме вещества. Совсем недавно исследования тяжелых металлов в поверхностных водоемах сводились только к определению валового их содержания. Однако такая оценка малообоснована, т.к. биологическая активность и химическая реакционная способность в природных водах определяются в значительной степени их состоянием — всей совокупностью сосуществующих физических и химических их форм (ионным потенциалом химических элементов, величиной pH и Eh, адсорбционными свойствами донных отложений и пр.). Наибольшей токсичностью обладают разнообразные металлоорганические соединения, способные проникать через клеточную мембрану.

В связи с этим необходимо изучение в воде Павловского водохранилища потенциальной возможности комплексообразования органических веществ и тяжелых металлов, так как при определенных условиях так называемая «подвижная» часть соединений металлов может переходить из твердой фазы в водную и служить очагом вторичного загрязнения.

Таблица 2
Виды и объемы загрязняющих веществ, поступивших в реки в бассейне Павловского водохранилища за год

Table 2
Types and volumes of pollutants that enter rivers in the Pavlovskoe reservoir basin for the year

Компоненты	р. Уфа	р. Ай	р. Юрюзань
Нефтепродукты, т	123.8	148.3	23.3
Сульфаты, т	706.8	3639.2	829.0
Железо, т	5.6	11.7	9.9
Медь, кг	301.6	76.1	486.0
Цинк, кг	15313.0	344.0	83.7
Никель, кг	362.0	16.6	540.0
Хром, кг	8.8	431.0	1264.9
Мышьяк, кг	28.5		
Ртуть, кг	16.6		

В воде определены повышенные концентрации нефтепродуктов — от 1.05–1.84 (залив Байки, Бердяшка, Юрюзань) до 7.83 mg/dm^3 (створ

с. Караидель), что превышает ПДК от 21 до 156 раз (ПДК = 0.05 мг/дм³), фенолов — 2–96 ПДК (ПДК = 0.001 мг/дм³), соединений азота (аммонийного — 3–17, нитритного — 1–10 ПДК). Все эти показатели не постоянны, они многократно меняются в течение года, вплоть до исчезновения, особенно изменчивы концентрации нефтепродуктов и азотистых соединений.

Переработка берегов и формирование донных отложений

Процесс формирования донных отложений Павловского водохранилища происходит непрерывно в течение всего времени его существования. В эти отложения попадают продукты переработки берегов, а также взвешенный материал, приносимый большими и малыми реками.

Берега водохранилища преимущественно выпуклые, крутые (около 20–40°), на отдельных участках отвесные (Айдосская, Верхнеельдякская, Угрюмовская горы, 12 апостолов и др.), высотой до 30–40 м, сложенные светло-серыми, кремнистыми известняками от массивного до тонкослоистого строения. Крутые коренные берега перекрыты маломощным (0.5–1.0 м) почвенно-делювиальным чехлом с обломками коренных пород и залесены. Такие берега составляют до 70–80% от всей береговой линии и относятся к типу I (рис. 5). Эти берега практически не подвергаются размыву. Под действием волн лишь смывается почвенно-делювиальный чехол на высоту 0.5–2.5 м, редко до 5–6 м выше уреза воды.

Берега II типа составляют около 10% от всей береговой линии. Здесь разрушаются участки берега, сложенные делювиальными отложениями. Мощность делювия на этих пологих склонах долины р. Уфы чаще составляет 2–3 м, реже до 10 м. Поэтому интенсивность переработки на таких участках небольшая (р-н сел Новое Муллакаево, Уразбахты, устье р. Юрюзань, между 2–3, 11–14, 55–56 км и др.). Переработка берегов происходит главным образом под влиянием волнового процесса.

Наиболее интенсивной переработке подвергаются берега с развитым пойменно-террасовым комплексом (см. рис. 2, типы III и IV). Получили они распространение в районе сел Старое Муллакаево, Уразбахты, Караидель, правый берег на 75 км, левый берег от 66 до 68 км. Охватывают 10–15% береговой линии. В разрезе террас хорошо выделяется два слоя пород: верхняя часть сложена

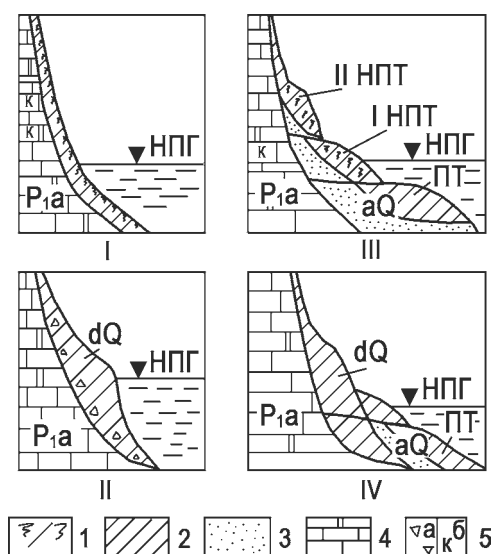


Рис. 5. Типы строения берегов Павловского водохранилища на разных участках затопления

Условные обозначения: 1–4 — породы: 1 — почвогрунты; 2 — глины, суглинки, супеси; 3 — песчано-гравийные отложения; 4 — известняки, доломиты; 5а — обломки пород; 5б — окремненность; НПГ — нормальный подпорный горизонт уровня воды; террасы: ПТ — пойменная, НПТ — надпойменная.

Fig. 5. Types of the structure of the shores of the Pavlovskoe reservoir at different sites of flooding

Legend: 1–4 — rocks: 1 — soil; 2 — clays, loam, sandy loam; 3 — sand and gravel deposits; 4 — limestones, dolomites; 5a — fragments of rocks; 5b — silicification; NPG — normal retaining horizon of water level; terraces: PT — floodplain, NPT — floodland.

коричневато-бурыми, желтоватыми суглинками четвертичного возраста, часто переходящими в супеси или тонкозернистые пески мощностью 5–8 м. Под ними залегают гравийно-галечниковые отложения с песчано-суглинистым заполнителем (мощностью до 10 м). Переработке в верхнем течении подвергается первая надпойменная терраса, а в нижнем — уже вторая и более высокие террасы. Скорость переработки берегов составляет 0.2–0.8 м/год (пос. Магинск, с. Хорошаево и др.), а в районе с. Старое Муллакаево достигает 2.5 м/год.

За время существования водохранилища (50 лет) образовался слой осадков мощностью до 2 м. Кроме минеральных отложений в донных образованиях обнаружено значительное количество затонувшей древесины. Древесина, пролежавшая на дне несколько лет, внутри имеет желтый цвет, а с поверхности — темный (черный) и издает сильный запах сероводорода.

В береговой зоне водохранилища, до глубины 10–12 м, ил слабоуплотненный, серовато-

коричневый, а в середине (глубина 20–35 м) зеленовато-серый. Верхний слой (0.2–0.35 м) в глубоких частях водохранилища рыхлый, слабый, а ниже — плотный, вязкий. Плотность донных отложений, отобранных с глубины 0.5 м при столбе воды 27.5 м, составляет 2.65 г/см³. Гранулометрический состав их представлен (%): глинистыми фракциями (менее 0.001 мм) — 36.5, пылеватыми (0.05–0.001) — 54.5, песчаными (0.25–0.05) — 9. Содержание органических веществ в илах составляет 28.9%. Как свидетельствуют данные водных вытяжек донных отложений, они слабоминерализованы (0.09–0.16 г/100 г), имеют гидрокарбонатный и сульфатно-гидрокарбонатный состав. Относятся к типу I (содовому), слабощелочные (рН 7.25–7.45), окислительно-восстановительные условия характеризуются показателем Eh от +6.96 до –65 мВ. В составе донных отложений присутствует аммоний (3–5 мг/100 г), в небольшом количестве нитриты (0.35–0.49 мг/100 г). Содержание отдельных компонентов составляет (мг/100 г): кальция — 0.8–5.4, магния — 0.7–1.7, натрия и калия — 21.2–36.8, гидрокарбоната — 32.0–106.8, сульфата — 4.7–26.5, хлора — 1.77–3.6 [Абдрахманов, 1991].

Исследованиями в 2012 г. химического состава донных отложений в 500 м выше плотины на глубине 25 м установлено, что по сравнению с 1987 г. минерализация несколько увеличилась — от 0.10–0.12 до 0.13–0.28 г/100 г (табл. 3). Состав вытяжек изменился от I (содового) в IIIa (хлормagneиный), т.е. от гидрокарбонатного натриевого в гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый, что вызвано техногенным влиянием. Химический состав донных отложений (табл. 4) на 50–73.5% представлен SiO₂.

Другие компоненты (Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, TiO₂ и пр.) не превышают 0.06–7.2%. Механический состав представлен на 41–55% глинисто-илистым составом. Содержание пылеватых фракций 30–31.5%, а песчаных 13.0–29.0%. Содержание органических веществ — 11.7–13.1%.

Первые исследования содержания тяжелых металлов в донных отложениях (в 1987 г.) показали присутствие их в достаточно высоких концентрациях (мг/кг): цинка (35–45), лития (20–25), свинца (2.4–5), меди (до 13) и хрома (2–4). Результаты исследований в 2012 г. приведены в табл. 5. Валовое содержание тяжелых металлов составляет (мг/кг): цинка (36.9–41.7), свинца (4.1–4.5), меди (12.8–15.9), хрома (0.64–0.68). Подвижная часть их составляет (мг/кг): цинка (5.4–11.6), свинца (1.0–1.4), меди (0.7–1.2), хрома (0.2–3.3). По сравнению с 1987 г. резкого увеличения не наблюдается. Это, видимо, объясняется тем, что в последние 15–20 лет резко снизился сброс тяжелых металлов в реки Уфа, Ай, Юрюзань промышленными предприятиями Челябинской и Свердловской областей. Содержание их близко к показателям тяжелых металлов в Волжских водохранилищах [Кочарян и др., 2003].

Заключение

Интерес к изучению влияния техногенеза на качество воды Павловского водохранилища вызван не только тем, что он отрицательно влияет на рыбное хозяйство водохранилища, рекреационную зону в этом районе, работу сооружений гидроузла и пр., а главным образом — влиянием на качество воды уфимских водозаборов, расположенных ниже.

Таблица 3

Химический состав водных вытяжек донных отложений Павловского водохранилища

Table 3

Chemical composition of water extracts of bottom sediments of Pavlovskoe reservoir

№ пробы	M, мг/100 г	рН	Ингредиенты, (% , мг/экв, %экв)						Индекс состава
			HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	
1	0.129	7.20	0.034	0.067	0.006	0.034	0.005	0.0004	CS ^{Ca} _{IIIa}
			0.560	1.388	0.170	1.700	0.400	0.018	
			26.5	65.5	8.0	80.2	18.9	0.9	
2	0.282	7.24	0.023	0.187	0.006	0.060	0.017	0.0007	S ^{MgCa} _{IIIa}
			0.376	3.889	0.164	3.000	1.400	0.029	
			8.5	87.8	3.7	67.7	31.6	0.7	
3	0.220	7.35	0.027	0.140	0.006	0.044	0.016	0.0006	S ^{MgCa} _{IIIa}
			0.450	2.912	0.164	2.200	1.300	0.026	
			12.7	82.6	4.7	62.4	36.9	0.7	

Таблица 4

Химический состав донных отложений
Павловского водохранилища (масс. %)

Table 4

Chemical composition of bottom sediments
of Pavlovskoe reservoir (mass. %)

№ п/п*	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП	Сумма
1	66.04	1.09	9.17	3.58	0.22	0.06	5.68	2.20	1.00	1.71	0.02	7.98	99.71
2	73.52	0.67	8.33	2.80	0.50	0.07	1.42	1.80	1.00	1.35	0.08	7.70	99.24
3	67.79	0.54	6.46	2.88	0.22	0.06	7.10	1.20	0.50	1.35	0.02	11.30	99.42
4	69.13	0.67	8.75	2.50	0.50	0.07	7.20	1.25	1.21	1.74	0.04	6.70	99.67
5	50.00	0.70	17.40	6.70	1.60	0.10	2.27	2.80	1.07	1.20	0.20	15.60	99.64
6	50.70	0.70	17.00	4.35	2.14	0.10	2.27	3.40	1.00	0.54	0.20	17.30	99.70
7	55.00	0.70	16.81	1.00	1.80	0.11	1.70	3.20	1.27	0.54	0.20	17.30	99.65

Примечание: * Места отбора: 1 — р. Юрюзань, 10 км выше устья, 2 — устье р. Юрюзань, 3 — Магинск, 4 — Янсайтово, 5, 6, 7 — 0.5 км выше плотины.

Note: * Places of selection: 1 — Yuruzan river, 10 km above the mouth, 2 — the mouth of the Yuryuzan river, 3 — Maginsk, 4 — Yansaitovo, 5, 6, 7 — 0.5 km above the dam.

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях
Павловского водохранилища (мг/кг)

Table 5

The concentrations of heavy metals i
n bottom sediments (mg/kg)

Элемент	Проба 1		Проба 2		Проба 3		ПДК в почве	
	Валовая	Подвижная	Валовая	Подвижная	Валовая	Подвижная	Валовая	Подвижная
Pb	4.18	1.13	4.53	1.36	4.45	0.96	130.0	6.0
Cu	12.84	0.89	15.77	0.74	15.94	1.16	132.0	3.0
Zn	36.86	5.40	38.78	11.63	41.76	5.49	220.0	23.0
Ni	33.49	2.61	35.20	10.56	36.43	3.45	80.0	4.0
Co	3.61	0.20	3.67	1.10	3.63	0.59	40.0	5.0
Cr	0.68	0.56	0.66	0.20	0.64	3.28	—	—

С проблемой охраны от загрязнения поверхностных вод р. Уфы неразрывно связано качество и количество ресурсов аллювиального водоносного горизонта долины, который каптирован несколькими водозаборами инфильтрационного типа (северный и южный водозаборы г. Уфы и другие) для обеспечения крупного централизованного водоснабжения. Высокая производительность таких водозаборов объясняется, с одной стороны, хорошими фильтрационными свойствами аллювия и значительными эксплуатационными запасами подземных вод, а с другой — наличием тесной гидравлической связи аллювиального горизонта с рекой Уфа, которые служат надежным источни-

ком восполнения запасов подземных вод. Количество речных вод, поступающих в скважины инфильтрационного забора, в зависимости от проницаемости аллювиальных отложений, кольматации русла и прочих условий колеблется в широких пределах и может достигать 70–80% общей производительности водозабора этого типа.

В ходе миграции к водозабору за счет различных физико-химических процессов происходит улучшение качества речной воды: освобождение от механических примесей и патогенных микроорганизмов, снижение содержания некоторых компонентов, главным образом органического происхождения. Особую роль при оценке качества

воды инфильтрационных водозаборов играют фенолы, которые относятся к токсичным веществам и, кроме того, даже в небольших концентрациях придают воде специфический запах, усиливаемый при хлорировании. Присутствие в воде рек различных органических соединений сверх допустимых норм является одним из основных факторов, ограничивающих создание в их долинах высокопроизводительных инфильтрационных водозаборов. Чрезвычайные происшествия, которые имели место на южном водозаборе г. Уфы в 1990 г., когда содержание фенолов, диоксинов и других высокотоксичных органических веществ достигало десятков и сотен ПДК¹, свидетельствуют о том, насколько актуальна охрана водных ресурсов бассейна р. Уфы от загрязнения. Считаю необходимым продолжить исследования, имеющие не только теоретическое, но и важное практическое значение.

Работа выполнена по теме 0252-2014-0017.

Список литературы:

Абдрахманов Р.Ф. Влияние техногенеза на качество воды Павловского водохранилища. — Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1991. — 28 с.

Абдрахманов Р.Ф. Особенности формирования химического состава воды Павловского водохранилища // Гидрохимические материалы. — 1994. — Т. 111. — С. 139–150.

Абдрахманов Р.Ф. Пресные подземные и минеральные лечебные воды Башкортостана. — Уфа: Гилем, 2014. — 416 с.

Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала. — Уфа: Гилем, 2010. — 420 с.

Абдрахманов Р.Ф., Тюр В.А., Юров В.М. Юмагузинское водохранилище: Формирование гидрологического и гидрохимического режимов. — Уфа: Информреклама, 2008. — 152 с.

Абдрахманов Р.Ф., Шкундина Ф.Б., Полева А.О. Особенности гидрохимического и гидробиологического режимов Павловского водохранилища // Водные ресурсы. — 2014. — Т. 41, № 1. — С. 83–93.

Алекин А.О. Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеоздат, 1970. — 444 с.

Кочарян А.Г., Веницианов Е.В., Сафронова Н.С., Серенькая Е.П. Сезонные изменения форм нахождения тяжелых металлов в водах и донных отложениях Куйбышевского водохранилища // Водные ресурсы. — 2003. — Т. 30, № 4. — С. 443–451.

Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. — Л.: Недра, 1977. — 479 с.

Лыкошин А.Г. Павловская плотина на реке Уфа / Под ред. А.Н. Вознесенского // Геология и плотины. — М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. — Т. 1. — С. 35–60.

Полева А.О. Комплексная оценка экосистемы Павловского водохранилища (Республика Башкортостан): Автореф. дис.... канд. биол. наук / ИБ УНЦ РАН. — Уфа, 2009. — 18 с.

Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф. Ионообменная концепция в генетической гидрогеохимии. — Уфа: Гилем, Башкирская энциклопедия, 2013. — 356 с.

References:

Abdrakhmanov R.F. Vliyanie tekhnogeneza na kachestvo vody Pavlovskogo vodokhranilishcha [Influence of technogenesis on the water quality of the Pavlovskoe reservoir]. Ufa: BNTS UrO AS USSR, 1991. 28 p. (in Russian).

Abdrakhmanov R.F. Osobennosti formirovaniya khimicheskogo sostava vody Pavlovskogo vodokhranilishcha [Formation of Water Chemistry in the Pavlovskoe Reservoir] // Gidrokhimicheskie materialy [Hydrochemical materials]. 1994. V. 111. P. 139–150 (in Russian).

Abdrakhmanov R.F. Presnye podzemnye i mineral'nye lechebnye vody Bashkortostana [Fresh Groundwater and Mineral Medicinal Water Reserves of Bashkortostan]. Ufa: Gilem, 2014. 416 p. (in Russian).

Abdrakhmanov R.F., Popov V.G. Geokhimiya i formirovanie podzemnykh vod Yuzhnogo Urala [Geochemistry and Groundwater Formation in the South Urals]. Ufa: Gilem, 2010. 420 p. (in Russian).

Abdrakhmanov R.F., Shkundina F.B., Poleva A.O. Hydrochemical and Hydrobiological Regime of the Pavlovskoe Reservoir // Water resources. 2014. T. 41, No. 1. P. 87–96.

Abdrakhmanov R.F., Tyur V.A., Yurov V.M. Jumaguzinskoe vodokhranilishche: Formirovanie gidrologicheskogo i gidrokhimicheskogo rezhimov. [The Yumaguzino Water Storage Reservoir (Formation of Hydrogeological and Hydrochemical Regimes)]. Ufa: Informreklama, 2008. 152 p. (in Russian).

Alekin A.O. Osnovy gidrokhimii [Fundamentals of hydrochemistry]. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 444 p. (in Russian).

Kocharyan A.G., Venitsianov E.V., Safronova N.S., Seren'kaya E.P. Sezonnnye izmeneniya form nakhozhdeniya tyazhelykh metallov v vodakh i donnykh otlozheniyakh Kujbyshevskogo vodokhranilishcha [Seasonal changes in the forms of finding heavy metals in the waters and bottom sediments of the Kuibyshev Reservoir] // Vodnye resursy [Water resources]. 2003. V. 30, No. 4. P. 443–451 (in Russian).

Lomtadze V.D. Inzhenernaya geologiya. Inzhenernaya geodinamika [Engineering geology. Engineering geodynamics]. L.: Nedra, 1977. 479 p. (in Russian).

Lykoshin A.G. Pavlovskaya plotina na reke Ufa (Pavlovskaya dam on the Ufa River) / A.N. Voznesenskii (ed.) // Geologiya i plotiny (Geology and Dams). M.; L.: Gosenergoizdat, 1959. V. 1. P. 35–60 (in Russian).

Poleva A.O. Kompleksnaya otsenka ekosistemy Pavlovskogo vodokhranilishcha (Respublika Bashkortostan): Avtoref. dis.... kand. biol. nauk [Complex assessment of the ecosystem of the Pavlovsk Reservoir (Republic of Bashkortostan): Cand. biol. sci. diss.] / IB UNTS RAS. Ufa, 2009. 18 p. (in Russian).

Popov V.G., Abdrakhmanov R.F. Ionoobmennaya konceptsiya v geneticheskoy gidrogeokhimii [The Ion Exchange Concept in Genetic Aqueous Geochemistry]. Ufa: Gilem, Bashkirskaya entsiklopediya, 2013. 356 p. (in Russian).

¹ ПДКр.х. фенолов — 1×10^{-3} мг/дм³, диоксинов — 2×10^{-8} мг/дм³.

Сведения об авторах:

Абдрахманов Рафил Фазылович, доктор геол.-мин. наук, профессор, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

Полева Александра Олеговна, кандидат биологических наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

Валитов Салават Альмирович, Башкирский филиал ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» E-mail: bashniivh@mail.ru

About the authors:

Abdrakhmanov Rafil Fazilovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

Poleva Alexandra Olegovna, Cand. Biol. Sci. Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

Valitov Salavat Almirovich, Bashkir Branch of FSBI «Russian Research Institute for the Integrated Use and Protection of Water Resources» E-mail: bashniivh@mail.ru