

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
имени М. В. ЛОМОНОСОВА**

*Географический факультет*

**ИССЛЕДОВАНИЯ  
МОЛОДЫХ ГЕОГРАФОВ**

Географический факультет МГУ – 2023

УДК 910

ББК 26.8

И

*Печатается по решению Ученого совета географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова*

Рецензенты:

*Ф.А. Романенко*, канд. геогр. наук, в. н. с.

*В.Л. Бабурин*, докт. геогр. наук, профессор

**И** **Исследования молодых географов:** сборник статей участников зимних студенческих экспедиций / Под ред. М.С. Савоскул, Н.Л. Фроловой. – М.: ИД Академии Жуковского, 2023. – 180 с.

**ISBN 978-5-907490-36-9**

Сборник рассчитан на широкий круг специалистов, работающих в области изучения природных объектов и использования их ресурсов, на аспирантов и студентов, изучающих закономерности изменения природной среды и общества, особенности природопользования и экологической безопасности.

Текст печатается в авторской редакции.

**ISBN 978-5-907490-36-9**

УДК 910

ББК 26.8

Фото на обложке:

*Заславская Елена*, 2 курс; *Барышкин Петр*, 1 курс магистратуры, кафедра картографии и геоинформатики; *Костенков Никита*, кафедра криолитологии и гляциологии, аспирант; *Кудяков Эмиль*, кафедра гидрологии суши, 2 курс.

© Географический факультет МГУ, 2023

## **ЗИМНИЕ ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОССИЙСКОГО УЧАСТКА Р. УРАЛ**

*Косицкий А.Г., Лукьянова А.Н., Айбулатов Д.Н.,  
Школьный Д.И., Антипов Н.Е., Борисычева М.С. Буторин З.С.,  
Виногоров А.А., Дунаев А.В., Жуков И.А., Конева У.А., Кудяков Э.Х.,  
Кузнеченко И.А., Куликова Я.В., Лошков О.Д., Малыгина А.В.,  
Марсов Ф.К., Овчинникова О.В., Пилипенко К.А., Рогова З.М.,  
Салпанова В.С., Соловьева С.С., Жмыхова Т.В., Шумаев Р.В.,  
Илич В.П.*

*Кафедра гидрологии суши*

Река Урал формирует свой сток в юго-восточной части Уральских гор, в своей верхней части протекает по территории Российской Федерации, а затем уходит на территорию республики Казахстан, где и впадает в Каспийское море. В ее бассейне расположено много промышленных предприятий, оказывающих влияние на водный режим и особенно на химический состав воды. Наиболее серьезное воздействие оказывает Магнитогорский металлургический комбинат (ММК). Сток р. Урал в пределах РФ зарегулирован несколькими искусственными водоемами, 4 из которых находятся на главной реке: Ильтебановское, Верхнеуральское, Ириклинское водохранилища и Заводской пруд в г. Магнитогорске.

Зимние полевые исследования прошли с 26 января по 4 февраля 2023 г. Основной целью было оценить антропогенное влияние на р. Урал. Работы проводились на реках и водоемах. Измерения проведены в 25 речных створах и на двух искусственных водоемах: Верхнеуральском водохранилище и Заводском пруду в г. Магнитогорске.

Среди речных створов 11 располагались на р. Урал, а 14 – на его притоках. Неслучайно для проведения работ выбрана зимняя межень, поскольку именно в данный сезон все водотоки находятся примерно в одинаковом состоянии, что позволяет сравнивать их между собой, выполняя пространственный анализ трансформации гидролого-гидрохимических характеристик.

Самый верхний створ на р. Урал располагался выше впадения р. Миндяк в 2322 км от устья реки. В этом створе площадь водосбора р. Урал составляет 1400 км<sup>2</sup>, следовательно, в соответствии с ГОСТ [1] она здесь является малой рекой. Следует подчеркнуть, что после слияния с р. Миндяк площадь водосбора реки становится больше 2000 км<sup>2</sup> и она становится средней рекой. Таким образом, самый верхний створ, на котором проводились гидрометрические измерения, был одновременно самым нижним створом, где р. Урал является малой рекой. Самая нижняя точка измерений располагалась в 1700 км от устья р. Урал, в 15 км ниже впадения р. Орь и примерно в 15 км выше выхода реки на Государственную границу между РФ и Казахстаном. Именно после впадения р. Орь площадь водосбора р. Урал становится больше 50 тыс. км<sup>2</sup> и она становится большой рекой [1]. Так площадь водосбора р. Урал в самом нижнем створе проведения полевых работ равна 65 тыс. км<sup>2</sup>, Таким образом, общая длина обследуемого участка р. Урал составила более 600 км, на котором происходит почти пятидесятикратное увеличение площади водосбора реки. Остальные 14 речных створов располагались на притоках, непосредственно впадающих в р. Урал.

С помощью измеренных расходов воды посчитаны модули стока, соответствующие зимней межени 2023 г. Для большинства притоков р. Урал, не испытывающих антропогенного влияния, они находились в диапазоне от 0,02 до 0,05 л/(с·км<sup>2</sup>). Исключение составил лишь самый верхний из измеряемых притоков – р. Миндяк, модуль стока которого получился равен 0,16 л/(с·км<sup>2</sup>), что связано скорее всего с горным расположением большей части его водосбора. В реках, имеющих площадь водосбора менее 250 км<sup>2</sup>, в период проведения полевых работ сток отсутствовал.

Измеренные расходы воды позволили выявить антропогенное изменение стока ряда рек. Так наибольший модуль стока, равный 2,0 л/(с·км<sup>2</sup>) был характерен для р. Сухая, впадающей в р. Урал непосредственно ниже Заводского пруда. Это свидетельствует, что она является объектом водоотведения, что подтверждается данными [2]. Также повышенные модули стока были характерны для р. Худолаз, несущей воды со стороны Сибайского карьера.

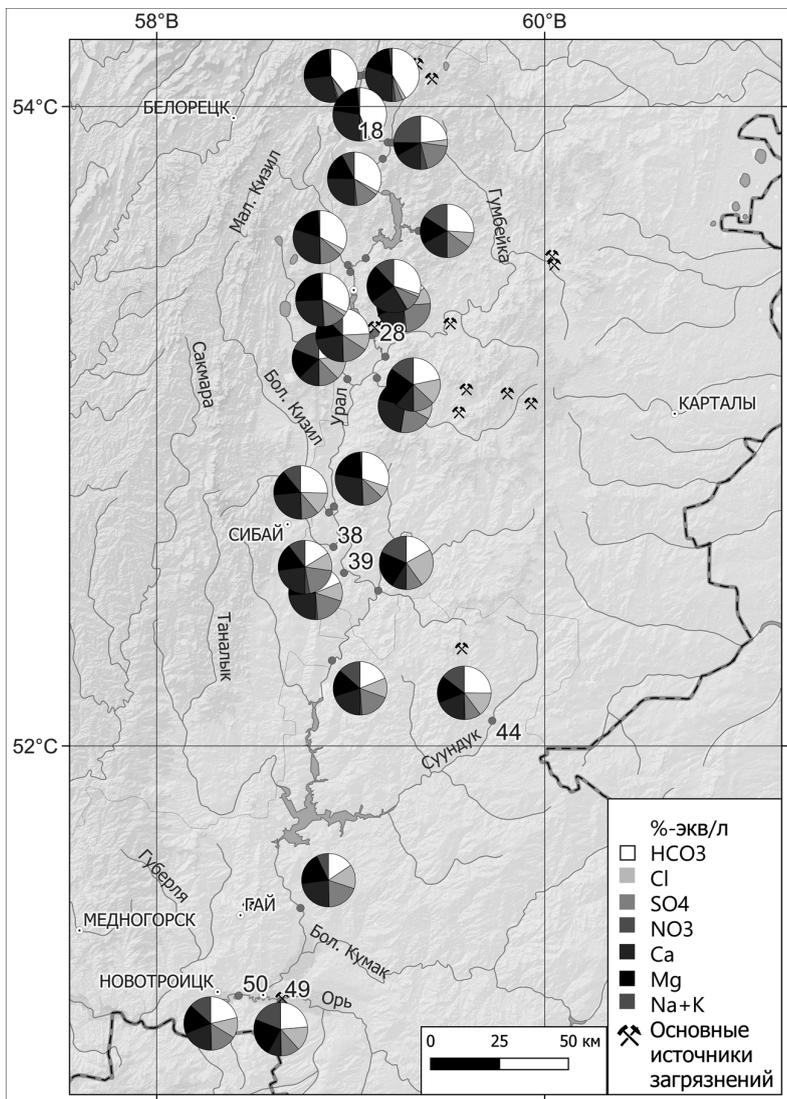
Измеренный расход воды в самом верхнем створе р. Урал составил 0,079 м<sup>3</sup>/с. С продвижением вниз по течению расходы воды увеличи-

вались как за счет впадения притоков, так и за счет работы водохранилищ, которые преимущественно сбрасывают воду в зимний период. В самом нижнем створе расход воды составил 26,6 м<sup>3</sup>/с, то есть водоносность реки на исследуемом участке р. Урал возросла более чем в 300 раз.

Влияние водохранилищ на трансформацию стока р. Урал подтверждают изменения модулей стока. Так в самом верхнем створе, где на р. Урал оказывает влияние лишь Ильтебановское водохранилище, расположенное в 100 км выше, модуль стока составил 0,054 л/(с·км<sup>2</sup>), что незначительно выше значений данного показателя, характерного для притоков р. Урал. Непосредственно выше г. Магнитогорска, то есть ниже Верхнеуральского вдхр. модуль стока р. Урал становится равным 0,17 л/(с·км<sup>2</sup>). В пос. Грязнушинский, расположенном ниже Заводского пруда, но выше Ириклинского вдхр. модуль стока р. Урал равен 0,27 л/(с·км<sup>2</sup>), а в самом нижнем створе – ниже всех водохранилищ он становится равным 0,41 л/(с·км<sup>2</sup>). Следует подчеркнуть, что модули стока всех измеряемых притоков на порядок меньше данной величины, следовательно, такое возрастание объясняется именно регулированием стока.

По результатам химического анализа р. Урал и его притоков была выявлена существенная неоднородность химического состава воды в реке (рис. 1). Верхнее течение р. Урал (до Заводского пруда) характеризуется наименьшей минерализацией и гидрокарбонатно-кальциевым составом. Количество растворённых солей составляет в среднем 360 мг/л, а содержание ионов НСО<sup>3-</sup> и Са<sup>2+</sup> колеблется между 35–40 %-экв/л и 25–30 %-экв/л соответственно. Формирование химического состава вод, питающих реку, происходит преимущественно в условиях горнолесных серых почв, горных и обыкновенных чернозёмов, образовавшихся на продуктах выветривания метаморфических пород (гнейсов и сланцев) и известняков.

В среднем течении реки (ниже г. Магнитогорск, до Российско-Казахстанской границы) минерализация существенно возрастает и достигает 480–550 мг/л. Одновременно происходит диверсификация химического состава воды: уменьшается относительное содержание гидрокарбонатов (до 15 %-экв/л) и увеличивается содержание сульфатов, хлоридов и нитратов.



**Рисунок 1** – Химический состав воды р. Урал и его притоков в створах отбора проб, а также основные и потенциальные источники загрязнения природных вод, расположенные в бассейне р. Урал

Наблюдаемые изменения химического состава р. Урал происходят вследствие ряда факторов. К ним можно отнести физико-географические и геологические условия формирования стока непосредственно реки Урал, химический состав вод его основных притоков, а также антропогенный фактор.

Физико-географические факторы, выраженные гидрохимической зональностью, обуславливают общее повышение минерализации, а также увеличение относительного содержания сульфатов и хлоридов в р. Урал от истока к устью, благодаря генеральному южному направлению течения этой части реки.

Все основные притоки р. Урал имеют существенно большие значения минерализации, а также более разнообразный химический состав. Относительное содержание гидрокарбонатов превышает 25% только в двух, наименее минерализованных, притоках Урала (р. Миндяк, р. Малый Кизил). При этом по сравнению с р. Урал его притоки характеризуются большим относительным содержанием ионов  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ . Эти особенности химического состава притоков р. Урал объясняются меньшей растворяющей способностью притоков по сравнению с основной рекой, а также особенностями геологического строения и антропогенным воздействием [3].

Антропогенные факторы формирования химического состава воды р. Урал можно разделить на прямые и косвенные. Прямыми факторами являются непосредственные сбросы сточных вод в Урал и его притоки, а также поступление загрязняющих веществ с поверхностным и подземным стоком с водосбора. Этот фактор играет большую роль для р. Урал, так как в её бассейне сосредоточено множество крупных промышленных предприятий, а также месторождений полезных ископаемых. Так, например, в 2021 г. по данным [2] в бассейне р. Урал было сброшено 68,41 млн  $m^3$  воды, которая перед сбросами требовала очистки.

К косвенным антропогенным факторам, определяющим химический состав р. Урал, можно отнести разбавляющее влияние Верхнеуральского и Ириклинского водохранилищ. Так, по полевым данным ниже Верхнеуральского водохранилища минерализация уменьшается на 264 мг/л, а ниже Ириклинского водохранилища – на 266 мг/л. При этом соотношение основных ионов в реке не изменяется. Ниже Заводского пруда, напротив, минерализация увеличивается (на 245 мг/л), а также существен-

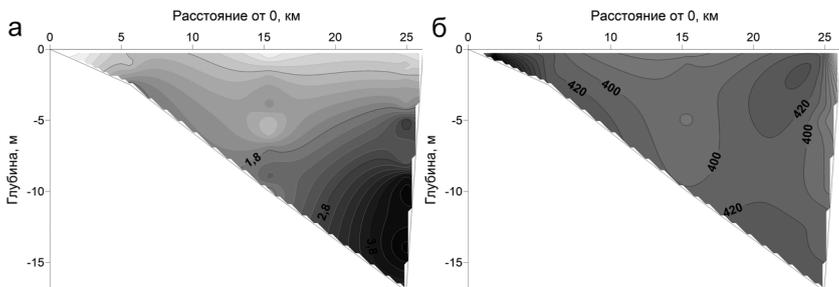
но увеличивается содержание хлоридов. Эту трансформацию состава можно объяснить недостаточной очисткой сбросов с ММК.

Отдельное внимание в работах уделено водоемам – Верхнеуральскому водохранилищу и Заводскому пруду в г. Магнитогорске. Для изучения химического состава и физических свойств вод проведено зондирование по глубине удельной электропроводности и температуры воды в нескольких точках (станциях), расположенных на акватории водоема (4 для Верхнеуральского вдхр. и 8 для Заводского пруда), а также отобраны пробы воды для лабораторного анализа. Далее в программе *Surfer* были построены продольные профили, отображающие распределение характеристик.

Верхнеуральское водохранилище является вторым по размеру искусственным водоёмом Челябинской области, который был построен в 1966 году как источник чистой воды для ММК. Оно расположено на реке Урал в 2192 км от устья и может рассматриваться как фоновое для анализа антропогенного влияния на нижележащие водоемы. Площадь водосбора составляет 4280 км<sup>2</sup>, площадь водного зеркала 75,5 км<sup>2</sup>, объём – 601 млн м<sup>3</sup>.

В целом распределение температуры по продольному профилю Верхнеуральского водохранилища (рис. 2, а) соответствует обратной температурной стратификации, характерной для водоёмов в холодное время года. Измеренные значения температур колеблются от 0°С у поверхности до 4°С у дна на самой глубокой вертикали в приплотинной области. Из данной картины выбиваются значения на станции № 3, расположенной у пос. Ивановский на расстоянии около 15 км от начала водохранилища, где на глубине 5–6 м температура воды оказалась несколько ниже, чем в выше- и нижележащих слоях. Возможно, это связано с поступлением притока воды.

Диапазон колебаний значений электропроводности воды достаточно велик: от 360 в районе 5–6 м на наиболее глубокой станции № 1 в приплотинной части водохранилища до 697 в самой верхней станции № 4 у поверхности (рис. 2, б). Значения у поверхности уменьшаются по направлению с севера на юг. По глубине же зависимость схожа с температурной: при увеличении глубины увеличивается электропроводность. Наименьшие значения электропроводности наблюдаются на станции № 3, что также, скорее всего, связано с впадением притоков.



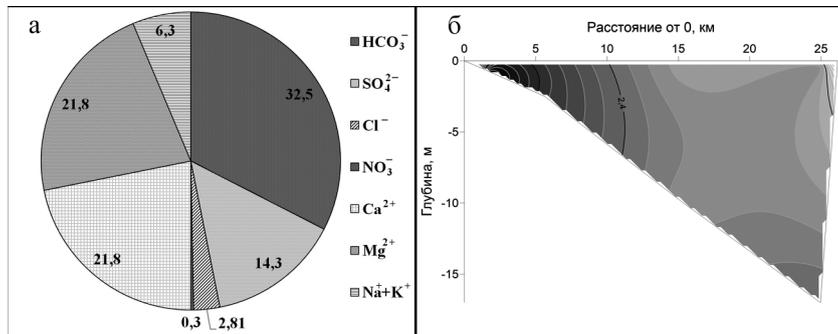
**Рисунок 2** – Распределение температуры (а, °С) и электропроводности (б, мкСм/см) воды по продольному профилю Верхнеуральского водохранилища 01.02.2023

По солевому составу воды водохранилища относятся к гидрокарбонатно-кальциево-магниевым (рис. 3, а). Изменение минерализации находится в пределах 280–500 мг/л. Воды характеризуются повышенным содержанием сульфатов 60–100 мг/л. В верхней мелководной части водохранилища, напротив с. Спасского и недалеко от впадения р. Черная в пробе воды наблюдалась наибольшая минерализация, содержание сульфатов и натрия. Также в этой пробе было зафиксировано довольно высокое содержание нитратов – 23 мг/л. Мелководная часть водохранилища хорошо освещена и прогревается в летний период. Поступление биогенных веществ из прибрежных поселков способствует высокой продуктивности вод. В зимний период разложение органического вещества, затрудненная циркуляция из-за большой толщины льда (55–70 см) и небольшой глубины (1–2 м) вызывают увеличение минерализации и накопление биогенных веществ.

Наибольшее содержание кальция в верхнем бьефе водохранилища (рис. 3, б) может быть связано с осаждением кальция, который несёт с собой Урал, размывая карбонатные породы, вызванным резким снижением скорости перемещения водной массы и небольшими глубинами.

Заводской пруд был создан в 1939 году для нужд ММК. До 1960-х гг. он использовался одновременно как источник пресной воды для металлургического комбината и как приемник промышленных и коммунальных сточных вод. В 1960-х гг. были построены очистные соору-

жения и в водохранилище сбрасывались уже нормативно очищенные воды. Но только в 2018 были предприняты усилия для ограничения сброса промышленных вод в р.Урал. Производства были переведены на оборотное водоснабжение. Для этого была намыта земляная дамба, отделяющая водоем-охладитель ММК от основной русловой части Заводского пруда.

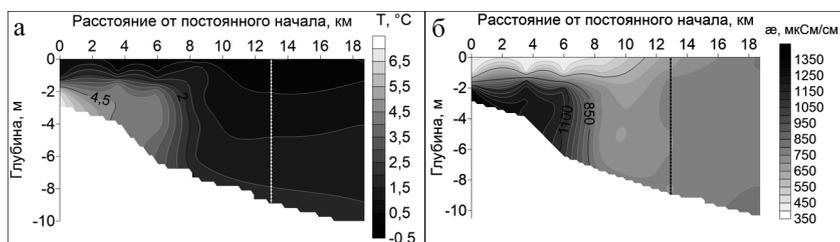


**Рисунок 3** – Относительное содержание ионов (а, %-экв.) и продольный профиль с распределением  $\text{Ca}^{2+}$  (б, мкСм/см) для Верхнеуральского водохранилища 01.02.2023

В верхней части пруда отмечено наличие двух чётко различных водных масс – поверхностной и глубинной (рис. 4). Для первой характерны весьма низкие электропроводность (в среднем до 600 мкСм/см) и температура (до 2°C). В пределах поверхностного слоя с увеличением глубины происходит постепенный рост данных параметров, характерный для зимнего периода. На глубине около 2 м наблюдается резкий скачок температуры (до 4–7°C) и электропроводности (до 1100–1300 мкСм/см), температурные градиенты достигают значений 6,6°C/м, электропроводности – 1392 (мкСм/см)/м. Причём, в отличие от поверхностного слоя, распределение этих параметров по глубине ниже слоя скачка сравнительно однородно.

Предположительно, данное явление вызвано поступлением в водоем производственных вод ММК, а также городских коммунально-бытовых стоков. Эти более тёплые воды, имея температуру, близкую к 4°C, оказываются более плотными, их высокая минерализация (опре-

деляемая по электропроводности) также способствует увеличению плотности. Благодаря этому данная водная масса опускается в придонные слои, вытесняя к поверхности воды, притекающие с р. Урал, гораздо более холодные и маломинерализованные. Оба фактора (температурный и солевой), обуславливающие данное плотностное расслоение, действуют сонаправленно. Динамическое перемешивание двух водных масс сдерживается малыми расходами Урала в период зимней межени, а также потерей скорости потока в зоне динамического подпора водохранилища и ледяным покровом. Вследствие такого сочетания условий стратификация верхней части Заводского пруда является весьма устойчивой. На продольных профилях водоёма хорошо заметно, что «язык» тёплых высокоминерализованных вод распространяется вниз по водохранилищу на расстояние около 8 км.

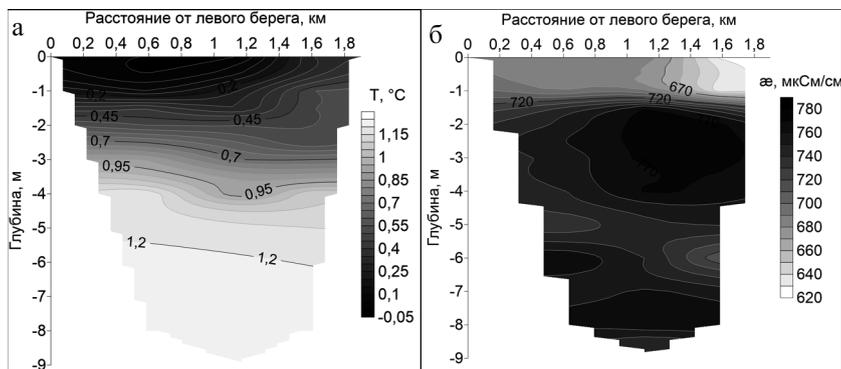


**Рисунок 4** – Распределение температуры (а, °С) и электропроводности (б, мкСм/см) воды по продольному профилю Заводского пруда 28–29.01.2023

Вблизи этой отметки располагается вертикальный клин температуры и минерализации, после которого водоём по всей глубине становится обратно стратифицированным по температуре и практически однородным по минерализации. Это объясняется тем, что на данном рубеже находится земляная плотина «Казачья переправа», которая практически полностью перекрывает поперечное сечение водоёма, оставляя достаточно узкий и глубокий (до 7 м) проход. Водообмен через проход в плотине затруднён, что приводит к застою основной водной массы в приплотинном плёсе. Через тело может происходить фильтрация, в результате которой воды из верхней части охлаждаются и теряют часть растворённых веществ. Воды р. Урал, находящиеся в верхнем горизонте поступают в основную, широкую часть водохра-

нилища и перемешиваясь с его водной массой способствуют разбавлению и уменьшению минерализации.

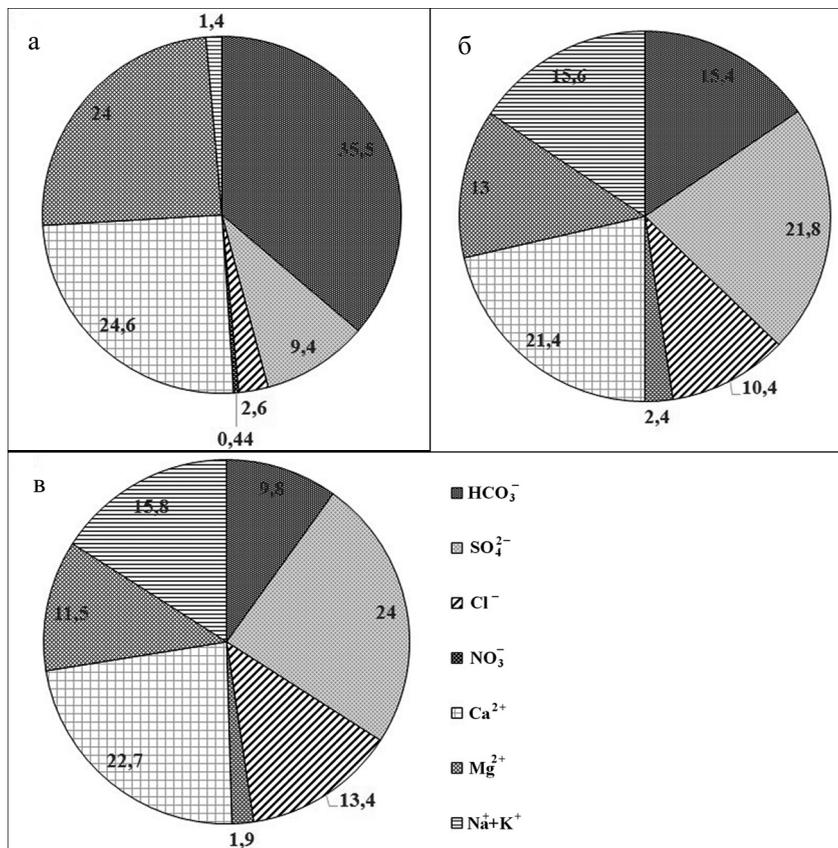
В наиболее широкой части водохранилища, на удалении 12,9 км от станции 1, принятой за постоянное начало, было проведено вертикальное зондирование поперечного створа (рис. 5). Распределение температуры здесь представляет собой зимнюю обратную стратификацию, температура от поверхности до глубины 4 м повышается от 0°C до 1,2°C. Диапазон колебания электропроводности по глубине находится в пределах 150 мкСм/см, что существенно меньше данного диапазона для верхней части водохранилища. Однако и здесь наблюдается зона резкого увеличения электропроводности до 770 мкСм/см на глубине 1,5 м мощностью около 1 метра с градиентами до 100 (мкСм/см)/м. Также поперечный профиль показывает, что основное течение как сильноминерализованных, так и менее минерализованных вод р. Урал происходит вдоль левого берега водохранилища.



**Рисунок 5** – Распределение температуры (а, °С) и электропроводности (б, мкСм/см) воды по поперечному профилю Заводского пруда 28.01.2023

Солевой состав водных масс разного происхождения трансформируется по мере их движения в водохранилище. Воды р. Урал маломинерализованы (250–300 мг/л), имеют гидрокарбонатно-кальциево-магниевый состав (рис. 6). Содержание хлоридов и катионов щелочных металлов не превышает 10 мг/л. Концентрации нитратов соответствуют зимнему периоду минерализации органического вещества и нако-

пления биогенных элементов в речных водах – 1–3 мг/л. Эти воды разливаются тонким слоем (не больше 1 м по глубине) подо льдом в верхней части водохранилища до Казачей переправы.



**Рисунок 6** – Химический состав воды Заводского пруда:  
 а – водные массы р. Урал; б – глубинные водные массы;  
 в – водоем-охладитель ММК

Воды глубинной водной массы на этом участке имеют минерализацию в два раза выше (650–680 мг/л). По составу они сульфатно-магниевые с высоким содержанием хлоридов и натрия. Содержание

нитратов в них очень велико – 20–28 мг/л. Эти воды занимают весь объем до дна. В этом же районе были отобраны пробы воды с поверхности водоема-охладителя ММК. Он отделен земляной фильтрующей дамбой, имеет несколько потокоформирующих дамб внутри. Температура воды в нем варьирует от 6° до 12°С, минерализация – выше 1 г/л. Солевой состав – сульфатно-магниевый, содержание сульфатов превышает 350 мг/л. Большая доля хлоридов и натрия – свыше 15% каждого. Таким образом, основная водная масса русловой части водохранилища представляет собой фильтрат содержимого водоема-охладителя. В результате фильтрации несколько понижается минерализация, содержание хлоридов и сульфатов уменьшается вдвое.

Ниже Казачей переправы состав воды более однородный, нет разделения на поверхностную и глубинную водные массы, состав вод гидрокарбонатно-кальциево-магниевый с большой долей сульфатов и натрия. Минерализация увеличивается ко дну и составляет 420–530 мг/л. Также ко дну увеличивается концентрация ионов сульфатов: 100–120 мг/л, против 60–90 мг/л у поверхности; хлоридов: 46–50 мг/л у дна и 25–40 мг/л у поверхности. Содержание нитратов тоже увеличивается ко дну, но не превышает 8–10 мг/л, что соответствует зимнему распределению биогенов в водохранилищах.

Несмотря на то, что общая минерализация воды на выходе из водохранилища выше минерализации вод р. Урал при поступлении в него, а состав обогащен не характерными ионами, можно сказать, что разбавление и очищение сбросных вод происходит.

### **Список литературы**

1. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1973. 36 с.
2. АИС ГМВО. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения 15.01.2023).
3. ВОДА РОССИИ. Речные бассейны / под науч. ред. А.М. Черняева; ФГУП РосНИИВХ. Екатеринбург: Издательство «АКВА-ПРЕСС», 2000. 536 с.

**Исследования молодых географов:**  
сборник статей участников зимних  
студенческих экспедиций

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского  
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А  
Интернет-магазин: [itsbook.ru](http://itsbook.ru);  
e-mail: [zakaz@itsbook.ru](mailto:zakaz@itsbook.ru); тел.: +7(495) 641-56-79

---

Подписано в печать 07.04.2023 г. Формат 60×84/16. Усл.печ.л. 10,46.  
Заказ № 8. Тираж 50 экз.

Отпечатано с готового макета.