

8. Богомолов А.В., Лепихин А.П., Ляхин Ю.С., Гребенева М.Г. Особенности колебаний вертикальных структур полей минерализации в Камском водохранилище в период летней межени в районе г. Березники // Горное эхо. – 2021. – № 4 (85). – С. 3-11. – DOI: 10.7242/echo.2021.4.1.
9. Лепихин А.П., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С. К особенностям формирования качества воды в р. Камы (Камского водохранилища) в зимний период в районе г. Березники // Горное эхо. – 2022. – № 1 (86). – С. 13-25. – DOI: 10.7242/echo.2022.1.3.
10. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Возняк А.А., Паршакова Я.Н., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С. Особенности регулирования качества воды при её селективном заборе из водохранилищ // Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление. – 2017. – № 3. – С. 56-68.
11. Лепихин А.П., Богомолов А.В., Тиунов А.А. Особенности течений в верхних бьефах крупных ГЭС, связанных с неравномерностью пропуска через них воды // Горное эхо. – 2020. – № 1 (78). – С. 12-15. – DOI: 10.7242/echo.2020.1.3.
12. Lyubimova T.P., Lepikhin A.P., Parshakova Ya.N., Bogomolov A.V. Coherent Structures at the Interface between Water Masses of Confluent Rivers // Water (Switzerland). – 2022. – V. 14, № 8. – № статьи 1308. – DOI: 10.3390/w14081308.
13. Лепихин А.П., Веницианов Е.В., Любимова Т.П., Тиунов А.А., Паршакова Я.Н., Ляхин Ю.С., Богомолов А.В. Влияние вертикальной неоднородности водных масс на устойчивость промышленного водоснабжения в зонах высокой техногенной нагрузки // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2021. – № 4. – С. 53-63. – DOI: 10.17076/Lim1419.
14. Лепихин А.П., Возняк А.А., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Ляхин Ю.С., Богомолов А.В. Исследование особенностей формирования и масштабов диффузного загрязнения, сформированного крупными промышленными комплексами, на примере Соликамского-Березниковского промузла // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47, № 5. – С. 560-566. – DOI: 10.31857/S0321059620050120.
15. Lyubimova T., Lepikhin A., Konovalov V., Parshakova Ya., Tiunov A. Formation of the density currents in the zone of confluence of two rivers // Journal of Hydrology. – 2014. – V. 508. – P. 328-342. – DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.10.041.
16. SWiFT CTD: сайт. – Текст электронный. – URL: <https://www.valeport.co.uk/products/midas-ecm/> (Дата обращения 31.08.23).
17. Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей: с изм. на 18 мая 2022 г. Утв. приказом Минприроды России от 29 дек. 2020 г. № 1118. – Текст электронный. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275596>.
18. Долгоносов Б.М. Нелинейная динамика экологических и гидрологических процессов. – М.: URSS, 2009. – 438 с.: ил. – (Синергетика: от прошлого к будущему).
19. Dolgonosov B.M., Korchagin K.A. A catchment-scale model for predicting statistical distributions of hydrochemical and microbial indicators in river water // Journal of Hydrology. – 2013. – V. 504. – P. 104-114. – DOI: 10/1016/j.jhydrol.2013.09.042.
20. Черкинский С.Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы: Методика расчетов при сан. экспертизе. – М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1947. – 92 с.: ил.

УДК 504.054; 504.064.3

DOI:10.7242/echo.2023.3.3

## **ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПОЛЕЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ, ФОРМИРУЕМЫХ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД В ВЕРХНЕ-ЗЫРЯНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

А.И. Лучников, Ю.С. Ляхин, А.П. Лепихин  
*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** В зимних условиях для небольших водохранилищ одним из ключевых факторов формирования температурных полей и полей минерализации водных масс является подземная составляющая водного баланса. Расположение водных объектов в зоне активного техногенеза повышает вероятность фильтрационной разгрузки подземных вод с повышенной минерализацией. Минимальные скорости течения и слабое перемешивание, а также ледовый покров, изолирующий водную массу от прямого контакта с атмосферой, способствуют формированию устойчивой вертикальной стратификации водных масс, особенно при ограниченных условиях режима эксплуатации ГЭС (без сработки и наполнения). При этом распределение

полей температуры воды подобно полям удельной электропроводности и, соответственно, минерализации воды. В результате формирующиеся стратифицированные по температуре и минерализации водные массы могут оказывать принципиальное влияние на устойчивость функционирования систем водоснабжения на основе таких водохранилищ. Показано, что оптимальным решением при исследовании неоднородности водных масс в полевых условиях является проведение кондуктометрической съемки по показателю удельная электропроводность воды.

**Ключевые слова:** водохранилище, разгрузка подземных вод, распределение температуры и минерализации воды, вертикальная стратификация водных масс, удельная электропроводность воды, ледоставный период, водопользование.

## Введение

Для решения вопросов, связанных с техническим водоснабжением рудников БКПРУ-2, БКПРУ-4, в 1969 г. было создано Верхне-Зырянское водохранилище. Рассматриваемый водоем расположен в зоне интенсивной разработки ВКМКС. Поскольку данный водный объект изначально рассматривался как источник водоснабжения, он не подвергался какому-то прямому негативному воздействию, в него не было и не осуществляется в настоящее время отведение сточных вод. В связи с этим при проектировании данного технического объекта не была учтена возможность его загрязнения вследствие фильтрационных разгрузок непосредственно в водохранилище и, соответственно, не была предусмотрена организация его эффективной промывки при прохождении весеннего половодья.

Кроме того, в связи с техническим переоснащением предприятий, переходом на новое оборудование значительно возросли требования к качеству забираемой воды. Так, предельно допустимое содержание (ПДК) хлоридов, рассматриваемых как основной лимитирующий ингредиент в воде, используемой для питьевых и культурно-бытовых целей, составляет 350 мг/л<sup>2</sup>, для рыбохозяйственных водоемов — 300 мг/л<sup>3</sup>, однако технологическим регламентом целого ряда промышленных предприятий Соликамско-Березниковского промышленного узла введен технологический норматив по хлоридам, не допускающий их превышения в 100 мг/л. В последние годы по данным ведомственного мониторинга фиксируется повышенное содержание хлоридов в воде, забираемой насосной станцией 1 подьема БКПРУ-4.

Проведенные исследования показали, что причиной обнаруженной неустойчивости водоснабжения является формирующаяся вертикальная неоднородность водных масс водохранилища. Анализ рассматриваемого процесса показал, что при определённых условиях может наблюдаться устойчивая вертикальная стратификация водных масс. Так как прямое измерение плотности воды, при этом на достаточных глубинах, весьма трудоемко, то значительно удобнее оценивать плотность воды через определяющие ее параметры. В общем случае плотность воды определяется следующими параметрами: давлением, температурой, минерализацией и содержанием в ней взвешенных наносов. Однако в неглубоких водных объектах, как в нашем случае, ролью давления и концентрацией взвешенных наносов зачастую пренебрегают, рассматривая в качестве определяющих параметров только минерализацию и температуру воды.

Наиболее детальная зависимость плотности воды от этих двух факторов представлена в работе [1] для минерализации воды до 40‰. Прямое использование данных зависимостей практически невозможно из-за их громоздкости. В то же время по ним весьма удобно проводить расчеты с использованием программных средств. Представленные

---

<sup>2</sup> СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2.

<sup>3</sup> Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 (ред. от 10.03.2020) «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

ниже оценки изменения плотности воды в зависимости от изменения температуры и минерализации воды выполнены по зависимостям, представленным в [1].

Для объективной оценки и анализа устойчивости водных масс необходимо параллельно проводить измерения минерализации и температуры. Поскольку для определения минерализации воды необходим весьма трудоемкий отбор проб воды с различных горизонтов, оценка ее минерализации проводилась через величину удельной электропроводности, которая допускает прямое измерение и имеет очень тесную связь с минерализацией.

Анализ вертикальной стратификации температуры воды в зимний период представляет существенный интерес не только как один из ключевых факторов, определяющих распределение полей плотности воды, но и как источник дополнительной информации по распределению поступления в водоем фильтративных разгрузок подземных вод.

### Материалы и методы

Верхне-Зырянское водохранилище расположено в 3,5 км юго-восточнее города Безрезники, в долине р. Зырянка, являющейся левым притоком р. Камы.

В геологическом строении ложа водохранилища принимают участие верхнепермские и четвертичные отложения. Среди четвертичных отложений выделяются голоценовые отложения (мощность от 8,5 м до 29,5 м), которые залегают в основании плотны и представлены суглинками, супесью, песком, гравийно-галечниковыми отложениями и торфом. Наиболее широко распространены суглинки и гравийно-галечниковые отложения [2].

Подземные воды на площадке водохранилища представлены двумя водоносными комплексами: первый приурочен к четвертичным отложениям; второй – к верхнепермским. Первый водоносный горизонт распространен в делювиальных и аллювиальных суглинках, слагающих долину. Приурочены эти воды главным образом к прослоям и линзам торфа, песка, супеси, гравия и гальки, встречающихся в толще суглинков. Питание происходит в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков и, частично, за счет паводковых вод реки Зырянки. В меженный период этот горизонт дренируется рекой. Второй водоносный горизонт приурочен к гравийно-галечниковым отложениям, горизонт напорный. Верхним водоупором является толща аллювиальных суглинков, нижним – элювиальные суглинки.

Морфометрические характеристики Верхне-Зырянского водохранилища приведены ниже [2]:

- отметка НПУ (нормальный подпорный уровень) 124,0 м;
- отметка УМО (уровень мертвого объема или горизонт сработки) 121,0 м;
- полный объем (объем, заключенный между дном чаши и зеркалом воды на отметке НПУ) 13,0 млн. м<sup>3</sup>;
- полезный объем (разность объемов водохранилища при НПУ и УНС) 10,0 млн. м<sup>3</sup>;
- размеры водохранилища на отметке НПУ: площадь зеркала 4,2 км<sup>2</sup>, длина 7 км, средняя ширина 0,6 км, средняя глубина 3,1 м.

Распределение глубин по акватории представлено на рис. 1. Максимальная глубина достигает ~11 м, при этом наибольшие глубины отмечаются вдоль старого русла р. Зырянки.

Сезонного и суточного регулирования уровня воды в верхнем бьефе Верхне-Зырянского водохранилища не осуществляется, поэтому уровень воды стабилен и в среднем держится на отметке 123,4 м БС (текущая эксплуатационная отметка порога водослива). Отметим, что это значение уровня на 0,6 м ниже отметки НПУ и на 0,9 м ниже отметки ФПУ. Согласно Правилам безопасной эксплуатации Верхне-Зырянского водохранилища, актуальная отметка уровня наибольшей сработки – 123,0 м.

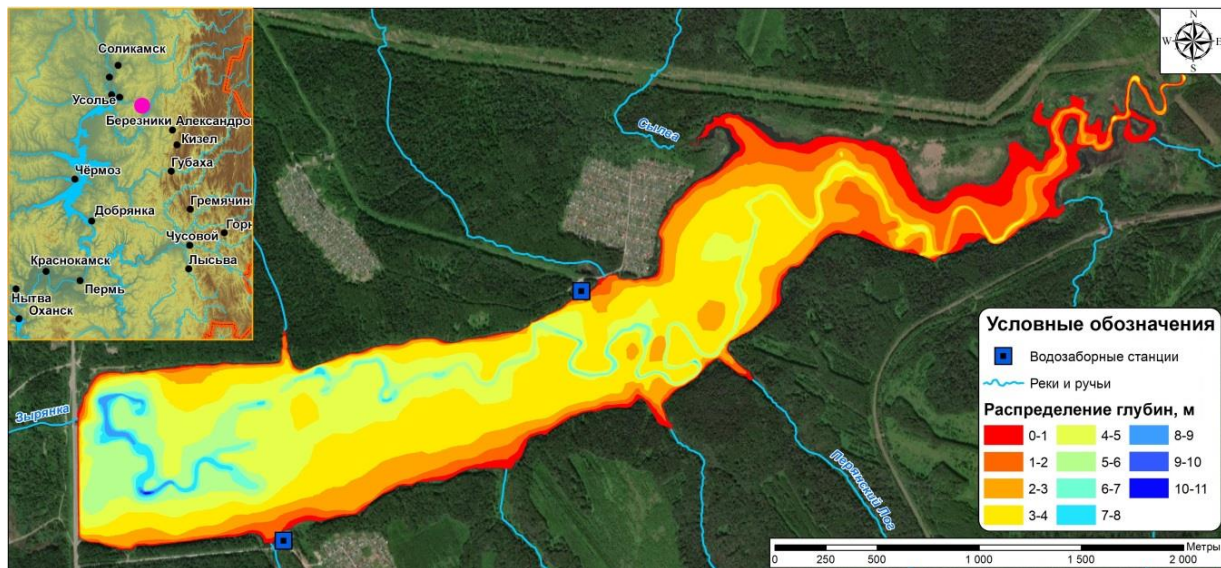


Рис. 1. Картограмма распределения глубин по акватории Верхне-Зырянского водохранилища

Распределение температурных полей в первую очередь определяется расположением источников тепла, так же как для минерализации – физическими особенностями этих полей. В летний и в целом безледоставный период основным источником поступления в водоем тепловой энергии является прямая солнечная радиация и взаимодействие с атмосферой. Поэтому максимальная температура воды в этот период, как правило, наблюдается в поверхностном слое. В зимний период образующийся ледовый покров хоть и изолирует водные массы от активного взаимодействия холодным атмосферным воздухом, максимальные температуры воды наблюдаются в придонной области. В зимний период значимым источником поступления тепла в водохранилище становится приток воды, в том числе, и фильтрационные разгрузки. При этом необходимо учитывать и плотностную аномалию воды, когда максимальная плотность воды отмечается при температуре воды 4°C, т.е. не при минимальной температуре. Однако эта закономерность характерна только для пресной воды, а для минерализованных вод эта зависимость существенно более сложна [1].

В настоящее время определение как температуры воды, так и минерализации в полевых условиях производится косвенно через влияние этих показателей на электропроводность. Широкое использование показателя «удельная электропроводность воды» в оценке состояния водных объектов обусловлено простотой его инструментального измерения в достаточно широком диапазоне концентраций ионов. Однако при этом возникает ряд вопросов. Если в современных кондуктометрах влияние температуры достаточно успешно автоматически компенсируется, то нестабильность соотношения основных макрокомпонентов, формирующих минерализацию воды, является определяющим фактором.

В достаточно общем случае при не слишком больших концентрациях ионов [3,4] имеет место следующая зависимость:

$$\kappa = \sum_{i=1}^N (a_i * C_i * (1 - b_i * \sqrt{C_i} + q_i)), \quad (1)$$

где  $\kappa$  – удельная электропроводность воды,  $a_i$   $b_i$   $q_i$  – модельные параметры определяемые характером  $i$ -иона,  $C_i$  – концентрация  $i$  иона,  $N$  – количество рассматриваемых ионов.

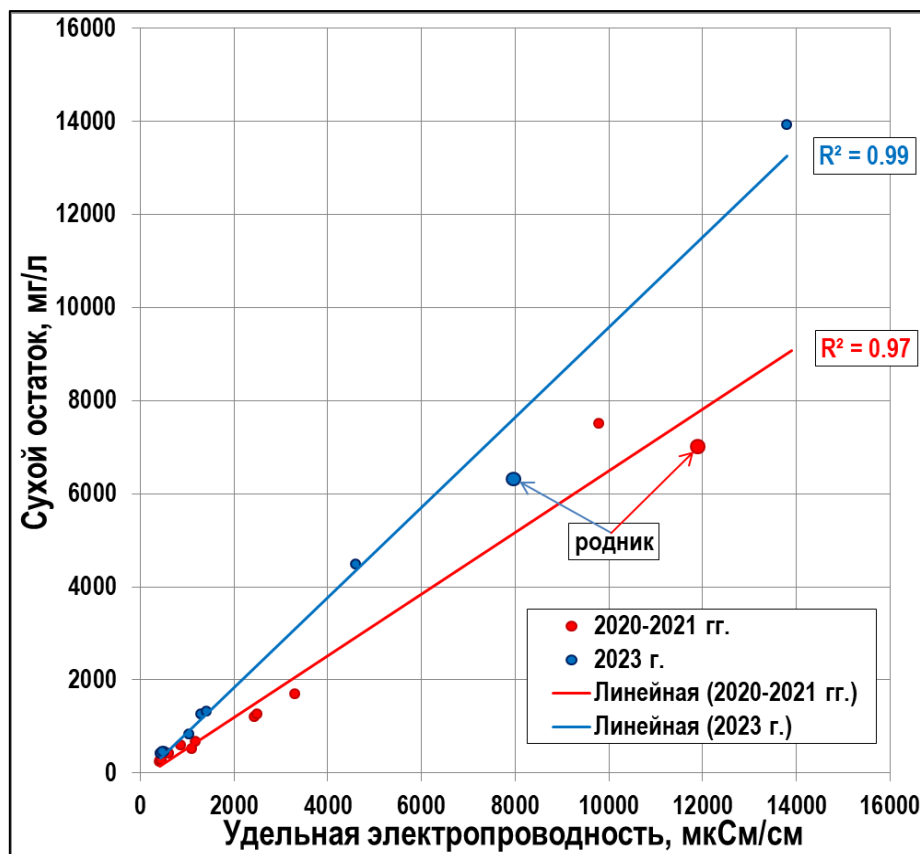
При решении практических вопросов оценки состояния водных объектов необходимо решение обратной задачи, оценка минерализации воды по информации о ее удельной электропроводности. Наиболее удобно она решается, если имеется возможность линеаризации соотношения (1) и представления его в следующем виде:

$$C_{\Sigma} = A_i * \kappa, \quad (2)$$

где,  $C_{\Sigma}$  – сумма ионов минерализация воды, параметр  $A_i$  определяется соотношением ионов, определяющих химический состав воды.

Если минерализация воды задается в мг/л, а удельная электропроводность в мкСм/см, то коэффициент  $A_i$  при относительно невысокой ее минерализации  $C_{\Sigma} < 15$ г/л, как правило, изменяется в интервале  $0,5 < A < 1,0$  при условной температуре воды  $\sim 20^{\circ}\text{C}$ . При этом максимальные значения данного параметра наблюдаются в гидрокарбонатно-кальциевых, а минимальные в хлоридно-натриевых водах.

Изменение данного параметра служит эффективным маркером изменения химического состава воды. В этом отношении весьма интересны зависимости, представленные на рис. 2.



**Рис. 2.** Связь удельной электропроводности воды и сухого остатка, полученная по данным полевых измерений и лабораторных определений проб воды Верхне-Зырянского водохранилища

Как следует из рис. 2, при удельной электропроводности  $\kappa < 1000$  мкСм/см зависимости  $C = f(\kappa)$  обуславливаются достаточной устойчивостью отношений ионного состава в области низких концентраций. В тоже время высокая минерализация воды формируется на данном водном объекте вследствие фильтрационных разгрузок, которые менее стабильны.

В целом коэффициент  $A$ , полученный по данным измерений 2020-21 гг., составляет  $A_{2020-2021} \sim 0,88$ , для 2023 г.  $A_{2023} \sim 0,64$ . Значимое различие наблюдаемых коэффициентов за 2-х летний период требует при проведении кондуктометрических съемок параллельного определения химического состава воды с оценкой содержания в ней основных ионов. Такие оценки необходимы для калибровки расчетных зависимостей (2), а также калибровки расчетного параметра  $A$ . Как правило, процесс изменения соотношения доминирующих ионов, формирующих качество воды водных объектов, даже при их расположении в зонах активного техногенеза весьма инерционен и характеризуется значительно большими временами, чем проведение гидрохимической съемки на водном объекте. Поэтому для оценки относительного распределения минерализации воды как по акватории, так и по глубине водного объекта, кондуктометрический метод представляется эффективным.

Учитывая большое количество факторов, влияющих на распределение в водных объектах полей температуры и минерализации воды, были проведены детальные измерения по распределению рассматриваемых показателей в районе проблемного водозабора (БКПРУ-4). При выполнении исследования были осуществлены следующие виды работ: подготовительные, топографо-геодезические, измерение удельной электропроводности и температуры воды, отбор проб воды, камеральная обработка.

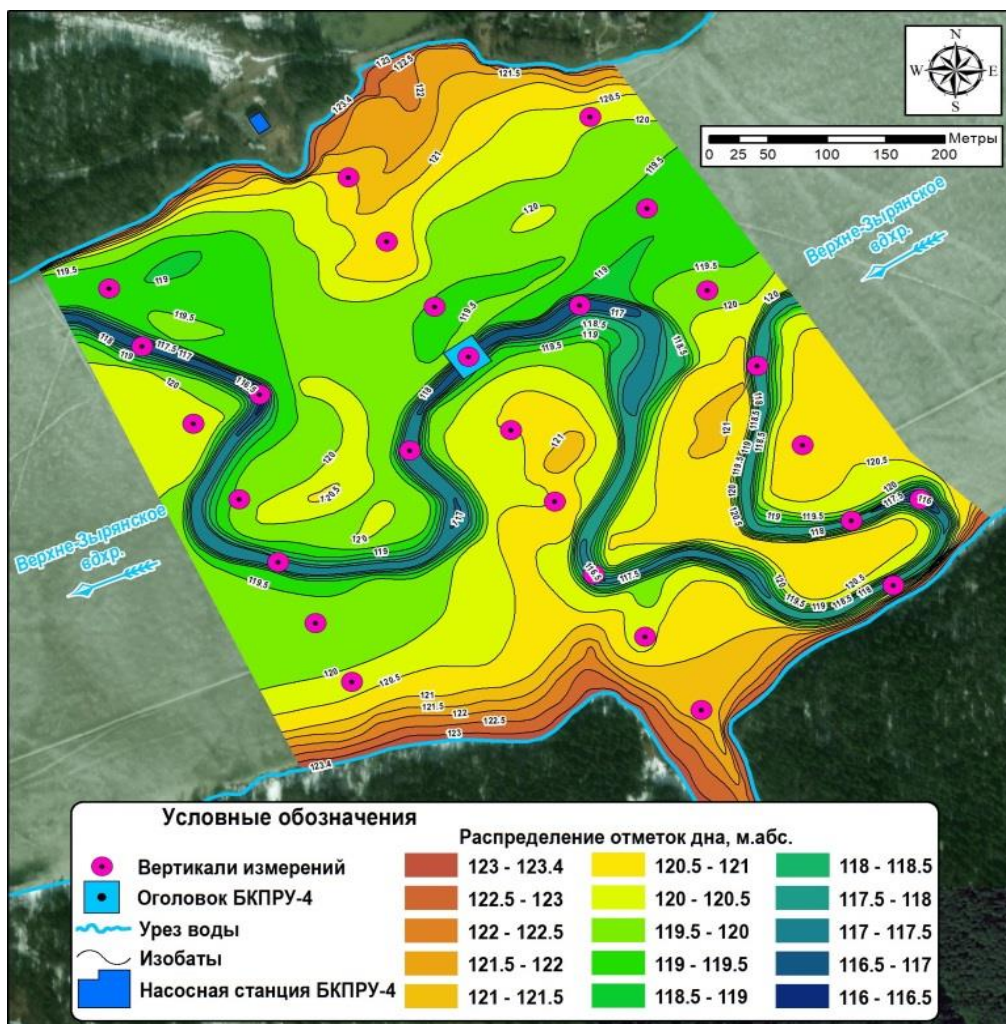


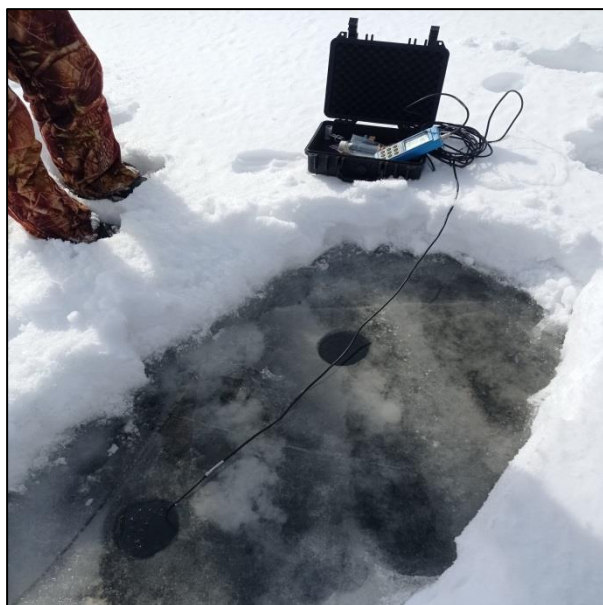
Рис. 3. Расположение вертикалей кондуктометрической съемки с учетом батиметрических особенностей акватории Верхне-Зырянского водохранилища в районе насосной станции I подъема БКПРУ-4

В ходе подготовительных работ определение расположения вертикалей кондуктометрической съемки акватории Верхне-Зырянского водохранилища в районе насосной станции I подъема БКПРУ-4 выполнено по архивным материалам детальной батиметрической съемки (2020 г.) для участка шириной 500 м. Итоговое положение вертикалей измерений (рис. 3) представляет собой 3 поперечных створа (через 200 м) с дополнительными вертикалями в местах максимальных глубин по затопленному руслу р. Зырянка. Количество вертикалей измерений – 27.

В составе топографо-геодезических работ выполнялось создание планово-высотного обоснования и определение высотных отметок уреза воды в 3-х створах измерений. Определение высотных отметок урезов воды выполнялось при помощи двухчастотных GPS приемников Sokkia GRX-2.

Для измерений удельной электропроводности и температуры воды применялся профессиональный полевой кондуктометр Hanna Instruments HI 98194 (рис. 4), совмещенный с температурным датчиком на кабеле 25 м. На каждой вертикали проводились измерения по глубине с шагом в 1 м от уреза воды. При выявлении слоев воды с резким изменением удельной электропроводности шаг измерения сгущался до 0,5 м. Количество измерений удельной электропроводности и температуры воды – по 169 значений.

Отбор проб воды выполнялся для проведения количественного химического анализа (КХА) на содержание макрокомпонентов, сухого остатка и общей жесткости. Процесс отбора проб воды осуществлялся с помощью насоса через размеченный шланг (рис. 5) последовательно с 3-х горизонтов: 0,5 м от поверхности воды, горизонт забора воды, 1,0 м от дна. Перед отбором каждой пробы насос погружался на заданный горизонт, осуществлялась прокачка в течение 1-2 минут с контролем значений удельной электропроводности забираемой воды при помощи кондуктометра до установления постоянного значения. Количество проб воды – 13 (водохранилище), 1 – родник.



**Рис. 4.** Измерение удельной электропроводности и температуры воды на Верхне-Зырянском водохранилище



**Рис. 5.** Отбор проб воды с различных горизонтов на Верхне-Зырянском водохранилище

На этапе камеральных работ по данным измерений кондуктометрической съемки построены поперечные профили распределения удельной температуры и электропроводности воды (на примере центрального створа в районе оголовка водозаборных сооружений, рис. 6, 7).

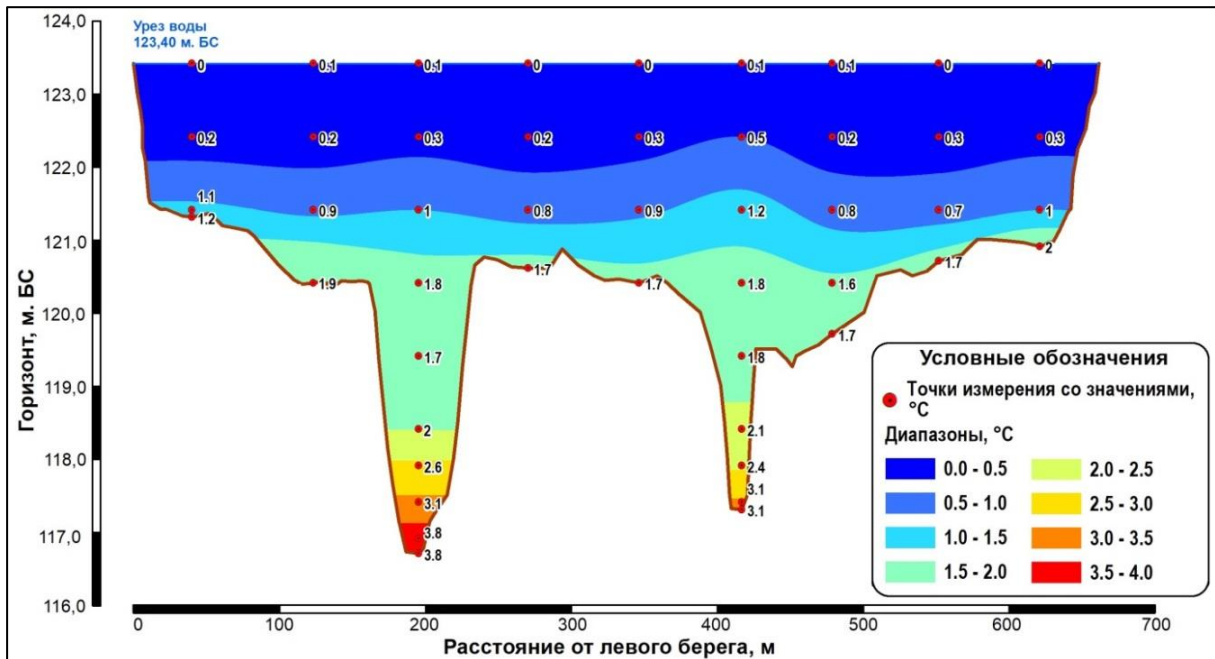


Рис. 6. Изменение температуры воды по глубине в створе водозабора БКПРУ-4

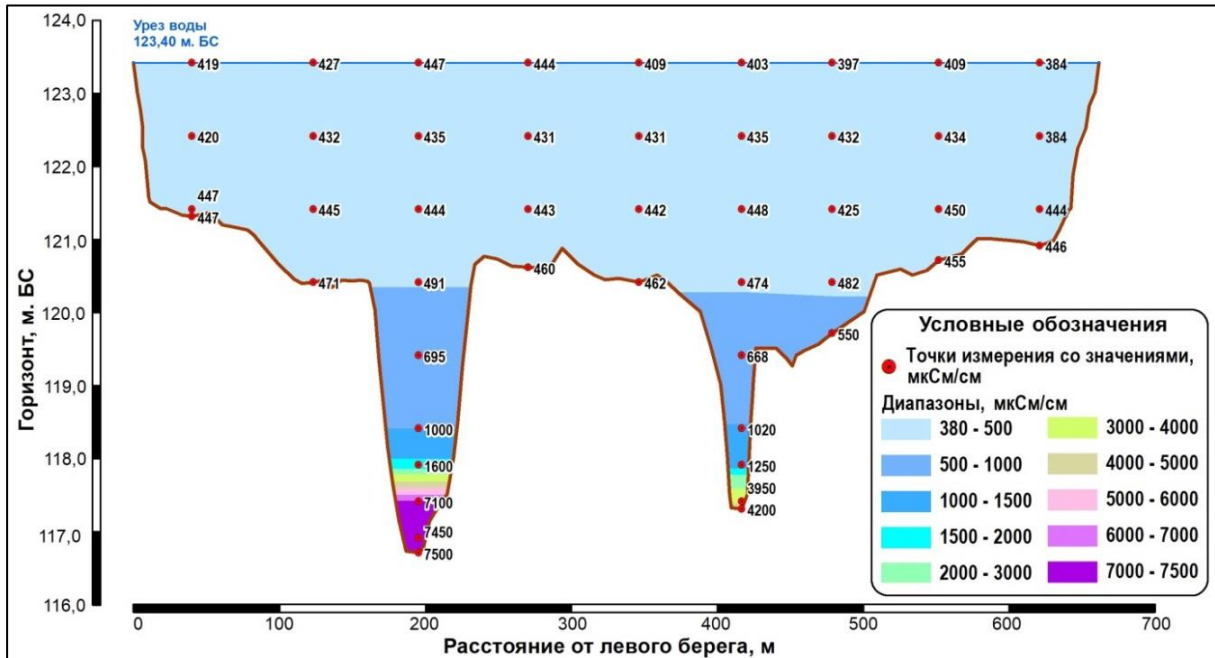


Рис. 7. Изменение удельной электропроводности воды по глубине в створе водозабора БКПРУ-4

### Обсуждение полученных результатов исследования

Как следует из сопоставления распределения полей температуры и удельной электропроводности, представленных на рис. 6, 7, нетрудно заметить их существенное подобие, что, по-видимому, объясняется идентичностью источников поступления тепла и



минерализации в исследуемый водный объект. Таким общим источником могут быть фильтрационные разгрузки подземных вод с повышенной минерализацией. При расположении ниже слоя промерзания почвы их температура значимо выше нуля, что и обуславливает синхронизацию рассматриваемых полей. Анормальность плотности воды в области низких температур в зимний период незначительно влияет на рассматриваемые процессы. В тоже время в летний период, когда температура воды в поверхностном слое увеличивается до 25-28°C, а в придонном по-прежнему наблюдается 5-7°C, температурная неоднородность водных масс становится значимым фактором в формировании плотностной стратификации водных масс.

Особенности зависимости изменения плотности воды от температуры и минерализации воды ( $\Delta\rho = \rho - 1000$ , где  $\rho$  – плотность воды в кг/м<sup>3</sup>) представлены на рис. 8, 9.

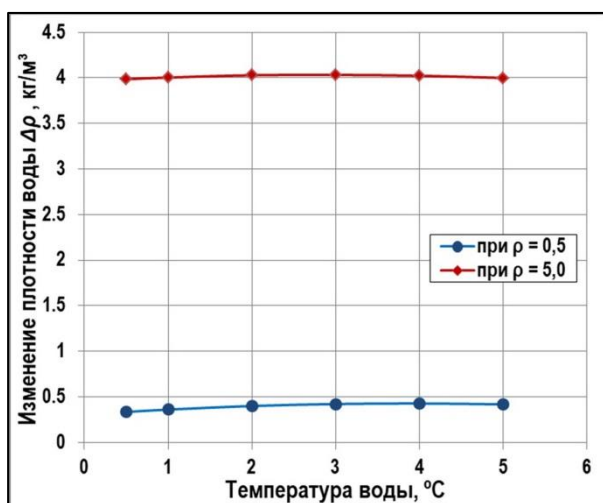


Рис. 8. Изменение плотности воды  $\Delta\rho$  при различной температуре воды

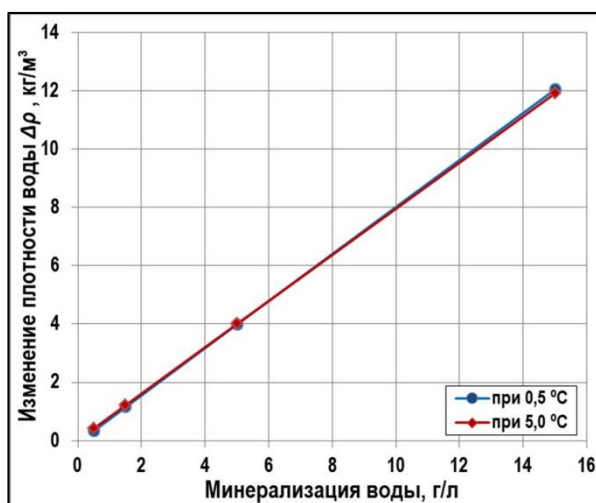


Рис. 9. Изменение плотности вод  $\Delta\rho$  при различной минерализации воды

В качестве критерия устойчивости стратифицированных структур в водных объектах, как правило, используется число Ричардсона [5, 6, 7]:

$$Ri = \frac{\left(\frac{g}{\rho}\right)\left(\frac{\partial\rho}{\partial z}\right)}{\left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность воды,  $g$  – ускорение свободного падения,  $z$  – вертикальная координата,  $V$  – характерная скорость потока.

При решении прикладных задач для анализа двухслойных структур, наряду с числом Ричардсона, используется плотностное число Фруда [5]:

$$Fr = \frac{V_x}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} \cdot g \cdot h}}, \quad (4)$$

где  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$  – относительное различие плотностей рассматриваемых водных масс,  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>,  $g$  – скорость свободного падения, м/сек<sup>2</sup>,  $V_x$  – скорость продольного течения,  $z$  – координата по глубине потока.

Из соотношений (3) и (4) следует, что  $Ri = \frac{1}{Fr^2}$ .

В качестве критического значения для формирования вертикальной неоднородности водных масс, как правило, принимается  $F_{гкр} < 1$ .

При характерных скоростях течений в зимний период в данном водохранилище  $V \sim 0,01$  м/сек и представленных изменениях плотности воды под влиянием температурного и минерализационного фактора (рис. 8, 9) наблюдаемые значения чисел Фруда значительно ниже критических, поэтому наблюдается весьма устойчивая вертикальная стратификация водных масс. Вследствие этой стратификации, как показано в [6, 7], не происходит «промывки» водохранилища при пропуске весеннего половодья. Данный эффект формирования устойчивой вертикальной стратификации оказывает принципиальное влияние на устойчивость использования Верхне-Зырянского водохранилища как источника технического водоснабжения.

### **Заключение**

Выполненный комплекс натурных исследований и аналитических работ показал.

– В зимний период наблюдается высокая пространственная синхронность распределения полей температуры и минерализации воды. Максимумы как температуры воды, так и ее минерализации приурочены к локальным понижениям рельефа дна рассматриваемого водного объекта, и обуславливаются фильтрационными разгрузками подземных вод с повышенной минерализацией.

– Для обеспечения требуемой детальности оценки распределения полей минерализации целесообразно определять и анализировать достаточно легко измеряемый показатель удельной электропроводности воды.

– Для корректировки полученных расчетных зависимостей при переходе от измеряемых показателей удельной электропроводности к минерализации необходимо оценить соотношение основных макрокомпонентов. Так, вследствие увеличения относительной доли кальция по отношению к натрию за период с 2020 по 2023 г. коэффициент  $A$  расчетной зависимости  $C_x = A_i * x$  уменьшился с 0,88 до 0,64.

– В зимний период изменение плотности воды в значительной мере определяется колебаниями минерализации, а не температуры воды. В тоже время в летний период роль температурного фактора значительно повышается.

*Исследование выполнено при поддержке РФФИ  
(проект № 20-45-596028 p\_НОЦ\_Пермский край), а также при поддержке  
Правительства Пермского Края в рамках научного проекта № С-26/828.*

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Millero F.J., Poisson A. International one-atmosphere equation of state of seawater // Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers. – 1981. – V. 28, № 6, June. – P. 625-629. – DOI: 10.1016/0198-014(81)90122-9.
2. Правила использования водных ресурсов Верхне-Зырянского и Нижне-Зырянского водохранилищ / ФГБУ РосНИИВХ. – Екатеринбург, 2021. – Этап 3. – 75 с.
3. РД 34.37.302. Методические указания по применению кондуктометрического контроля для ведения водного режима электростанций: утв. Гл. технич. управлением по эксплуатации энергосистем 23.08.1985. – М., 2009. – 38 с.
4. Hem J.D. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water / USGS Water-Supply Paper 1473. – 2nd ed. – Washington, 1970.
5. Самолюбов Б.И. Плотностные течения и диффузия примесей. – М: URSS, 2007. – 350 с.: ил.
6. Любимова Т.П., Лепихин А.П., Паршакова Я.Н., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С., Исахов А. Особенности гидродинамики водоемов с вертикальной плотностной неоднородностью водных масс в условиях активного техногенеза // Вычислительная механика сплошных сред. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 115-124. – DOI: 10.7242/1999-6691/2023.16.1.9.

7. Lyubimova T., Lepikhin A., Parshakova Y., Bogomolov A., Lyakhin Y., Tiunov A. Peculiarities of Hydrodynamics of Small Surface Water Bodies in Zones of Active Technogenesis (on the Example of the Verkhne-Zyryansk Reservoir, Russia) // Water. – 2021. – V. 13, № 12. – № статьи 1638. – DOI: 10.3390/w13121638.

УДК 551.736:56

DOI:10.7242/echo.2023.3.4

## ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ СОЛИКАМСКОГО ГОРИЗОНТА (УФИМСКИЙ ЯРУС, СРЕДНЯЯ ПЕРМЬ) ПРИУРАЛЬЯ

С.В. Наугольных<sup>1</sup>, Д.В. Наумкин<sup>2</sup><sup>1</sup>Геологический институт РАН, г. Москва<sup>2</sup>Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация:** В статье рассмотрены палеогеографические и палеоклиматические условия образования отложений соликамского горизонта, важного маркирующего стратона средней перми Приуралья. Приведены сведения о двух представительных разрезах соликамских отложений – Сылвенская Стрелка и Успенка, расположенных в Пермском крае. Подробно рассмотрены литологические особенности соликамских отложений, а также строматолиты и остатки древовидных гетероспоровых плауновидных *Vitatheslavica vorcutensis* Zalesky, встречающихся в соликамском горизонте.

**Ключевые слова:** пермская система, соликамский горизонт, Приуралье, Пермский край, строматолиты, лепидофиты, галит, гипс.

### Введение

Соликамский горизонт – исключительно важное стратиграфическое подразделение пермской системы в Приуралье по целому ряду причин. Во-первых, отложения этого горизонта литологически очень ярко отличаются как от нижележащих сульфатно-карбонатных и соленосных отложений иренского горизонта кунгурского яруса нижнего отдела пермской системы, так и от вышележащих, преимущественно красноцветных отложений шешминского горизонта уфимского яруса. В настоящей статье принято традиционное расчленение пермской системы с отнесением соликамского и шешминского горизонтов к уфимскому ярусу в его первоначальном понимании; подробное обсуждение проблемы см. в работах: [1, 2]. Литологический контраст между отложениями соликамского горизонта и ниже- и вышележащими отложениями обусловлен тем, что соликамский горизонт сложен преимущественно так называемыми «соликамскими плитняками», представляющими собой светло-серые или бежево-серые мергели, образующие характерную плитчатую отдельность. Во-вторых, отложения соликамского горизонта географически распространены очень широко: от Печорского Приуралья и бассейна реки Кожим на севере до Башкирского Приуралья и бассейна реки Уфы на юге. Это обстоятельство делает соликамский горизонт важным стратиграфическим маркером и своего рода опорным уровнем (*datum plane*) для проведения детальной геологической съемки, картирования и корреляции отложений пермской системы в пределах Уральского региона. В третьих, соликамские отложения содержат весьма специфический комплекс органических остатков, придающий соликамским отложениям собственное «биостратиграфическое лицо» и позволяющий распознавать и коррелировать соликамские отложения в очень широких географических пределах, от Приполярного до Южного Урала.