

# ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГИДРОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 556

DOI:10.7242/echo.2025.1.1

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПО ГЛУБИНЕ В ЛЕТНИЙ И ЗИМНИЙ ПЕРИОДЫ ГОДА НА АКВАТОРИИ В РАЙОНЕ г. БЕРЕЗНИКИ

А.В. Богомолов, М.А. Опутин, Т.Н. Синцова  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация:** Проведен анализ изменения удельной электропроводности в разные сезоны на примере одной вертикали на акватории г. Березники, оценены данные внутрисуточных колебаний, полученные с помощью логгера. Показано, что в теплый период года наблюдается эффект вертикальной стратификации водных масс, тогда как в зимний сезон показатель удельной электропроводности однороден по всей глубине вертикали.

**Ключевые слова:** качество воды, удельная электропроводность, водохранилище, уровни воды.

### Введение

Исследование Камского водохранилища в районе Соликамско-Безниковского промышленного узла представляет собой значительный интерес, поскольку техногенная нагрузка, создаваемая местными предприятиями, оказывает заметное влияние на водные ресурсы, прежде всего на реку Каму (Камское водохранилище). Изучаемая акватория также привлекает внимание с точки зрения гидродинамики, так как район города Березники находится в зоне переменного подпора Камской ГЭС. В зависимости от времени года и режима работы Камского водохранилища можно наблюдать различные типы влияния дамбы. Например, в летний период благодаря подпору водохранилища уклоны становятся почти нулевыми, в то время как зимой, когда происходит сброс воды из водохранилища, влияние подпора исчезает, и устанавливается речной режим в акватории около города Березники [1].

### Материалы и методы исследования

Данные по удельной электропроводности воды были получены с помощью кондуктометра (Cond1970i WTW) и логгера (Solinst Levelogger). Кондуктометр позволяет оперативно производить оценку состояния акватории на качество воды, в частности, на содержание хлоридов в воде, что важно, поскольку Cl является лимитирующим параметром при заборе воды для промышленных предприятий исследуемого района. В свою очередь, логгер позволяет оценить динамику уровней воды и уд. электропроводности с заданной дискретностью на определенном горизонте.

Измерения проводились на вертикали, расположенной у левого берега Камского водохранилища на 2468-2467 км судового хода [2]. Выбор вертикали обусловлен расположением на данном участке нескольких водозаборов промышленных предприятий, а также данная вертикаль расположена выше впадения реки Зырянки. Измерения с помощью кондуктометра проводились один раз в месяц с февраля по ноябрь 2024 г., всего 9 измерений. Логгер регистрировал данные по уровням воды и удельной электропроводности с 04.09.2024 по 14.10.2024. Для оценки уклонов водной поверхности использовались данные наблюдений сети гидрологических постов Росгидромет.

## Обсуждение результатов

Сезонная изменчивость в показателях удельной электропроводности характеризуется особенностями водного режима и работы КамГЭС. В зимний период, когда на участке акватории Камского водохранилища у г. Березники наблюдаются речные условия и отсутствует влияние плотины Камской ГЭС, фиксируются значения удельной электропроводности в диапазоне от 260 до 450 мкСм/см (рис. 1а), при этом отсутствует расхождение в значениях в поверхностном и придонном слоях. Важнейшую роль в данный период играют уклоны водной поверхности, определяющие скорости течения.

Во время весеннего половодья, когда происходит значительное возрастание уровней и расходов воды, связанное со снеготаянием, также наблюдается однородность удельной электропроводности по глубине. В связи с чем показатель удельной электропроводности заметно снижается в этот период (118-142 мкСм/см).

В период летней межени, когда уклоны водной поверхности минимальны и, соответственно, наблюдаются наименьшие скорости течения, значительное влияние оказывает подпор, распространяемый со стороны Камской ГЭС. Главной особенностью данного периода является наличие вертикальной стратификации водных масс (рис. 1б). Именно в этот период фиксируются наибольшие значения удельной электропроводности за весь год (до 26000 мкСм/см). В сентябре и октябре продолжает наблюдаться вертикальная стратификация на исследуемой части акватории, но при этом заметно снижется удельная электропроводность (до 3800 мкСм/см) в придонном слое, что свидетельствует о значительном влиянии смены режима работы водохранилища. В связи с началом сработки водохранилища уклоны водной поверхности начинают возрастать и, соответственно, скорости течения.

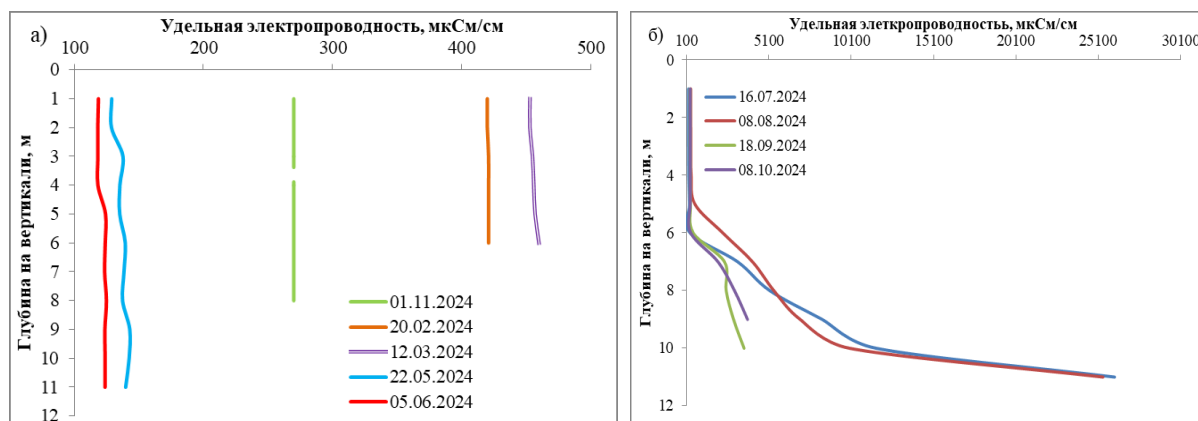


Рис. 1. Распределение удельной электропроводности по глубине на вертикали:  
(а) февраль-июнь; ноябрь, (б) июль-октябрь

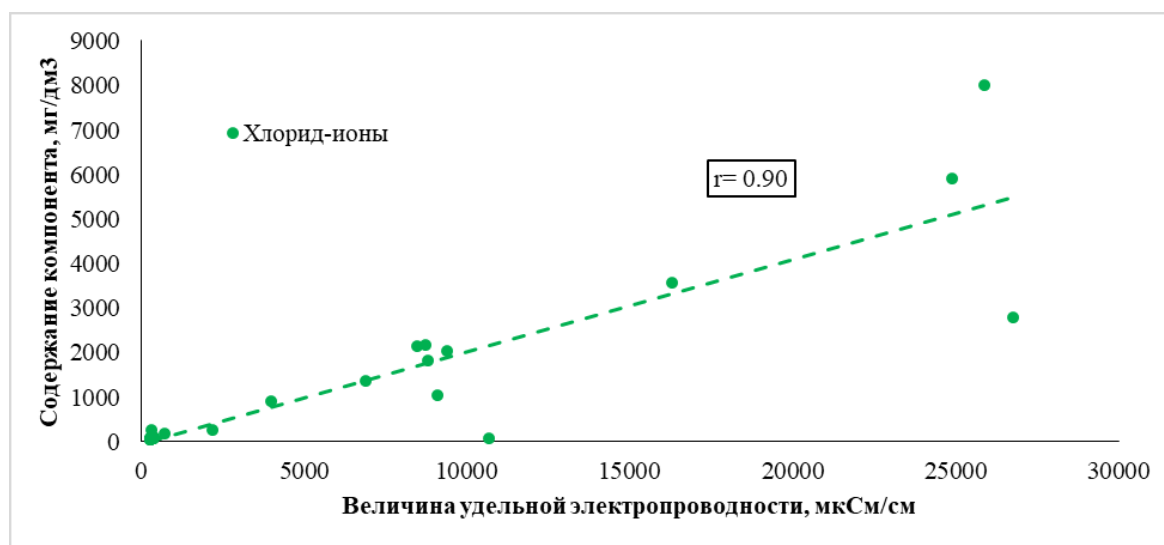
Благодаря очень тесной связи (рис. 2) между удельной электропроводностью и содержанием хлорид-ионов водных массах мы с достаточно большой точностью можем оценить содержание компонента в воде. Поскольку содержание хлоридов в воде является лимитирующим фактом для промышленных предприятий г. Березники, данные оценки, проводимые с помощью кондуктометра и логгеров, очень ценны, т.к. дают в первом приближении понимание о состоянии качества воды в тот или иной момент времени.

Для оценки устойчивости стратификации водных масс в прикладных исследованиях, как правило, используется плотностное число Фруда  $Fr_p$ . Данный параметр впервые был применен Г.И. Куликовым [3] для оценки устойчивости водных масс на рассматриваемой территории. Как показано в [4, 5], при значениях плотностных чисел  $Fr_p \sim 1,0$

наблюдается стратификация водных масс, то есть в водном потоке не создаются кинетические условия для межслойного перемешивания:

$$Fr_p = \frac{V}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} \times H_n \times g}} \quad (1)$$

где  $H_n$  – толщина нижнего слоя с повышенной минерализацией,  $V$  – средняя скорость течения,  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$  – относительное различие плотностей рассматриваемых водных масс,  $g$  – ускорение свободного падения.



**Рис. 2.** График связи между содержанием хлоридов-ионов и удельной электропроводностью в воде

Как известно, согласно формуле Шези средняя скорость потока определяется как:

$$V = C\sqrt{R \times I} \quad (2)$$

где  $V$  – средняя скорость течения  $C$  – коэффициент Шези,  $R$  – гидравлический радиус,  $I$  – уклон водной поверхности.

Таким образом, определяющим параметром для оценки числа Фруда является уклон водной поверхности, поскольку другие параметры остаются практически неизменными.

На рисунке 3 видно, что при определенном значении уклона водной поверхности ( $I < 0.5$  см/км) показатель числа Фруда становится  $\leq 1$ , при этом условии устанавливаются характерные вертикальные стратификации водных масс на исследуемом участке. Именно в те даты, когда уклоны были минимальны, число Фруда  $\leq 1$ , была зафиксирована неоднородность водных масс по глубине потока.

Внутрисуточные колебания удельной электропроводности воды отражают значимую изменчивость данного показателя (рис. 3) [6]. После монотонного возрастания в течение первых двух недель работы прибора наблюдается резкий спад удельной электропроводности. Простое объяснение этого явления, связанного с несанкционированным и нерегулируемым отведением высокоминерализованных сточных вод, не является обоснованным [4]. Верификация измерений, выполненных логгером, производилась путем сравнения их с наблюдениями на гидрологическом посту сети Росгидромет в г. Березники. Показано, что

значимых расхождений в уровнях нет, максимальное отклонение составляет 5 см, что, вероятно, связано с ветро-волновыми эффектами на изучаемой акватории [7]. Как видно из рис. 4, при локальном падении уровня воды, росте гидравлических уклонов и скорости течения возникает разрушение вертикальной стратификации водных масс, поэтому удельная электропроводность в придонной области резко падает.

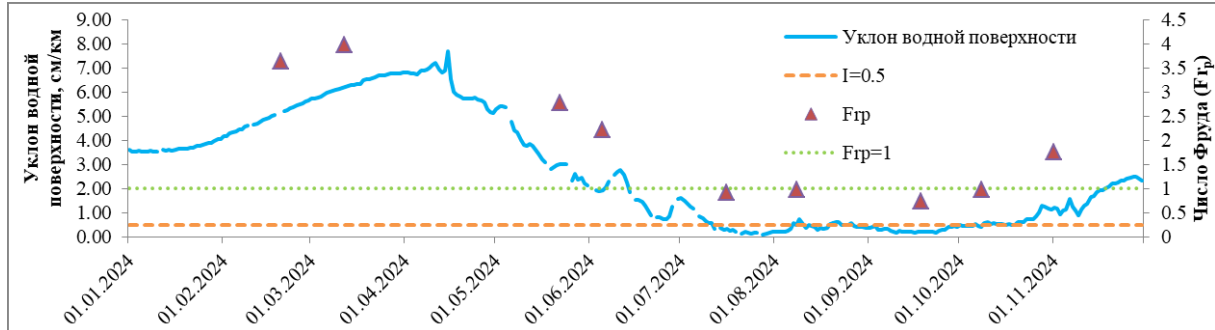


Рис. 3. Хронологический график изменения уклона водной поверхности  $I$  и значения числа Фруда  $Fr_p$

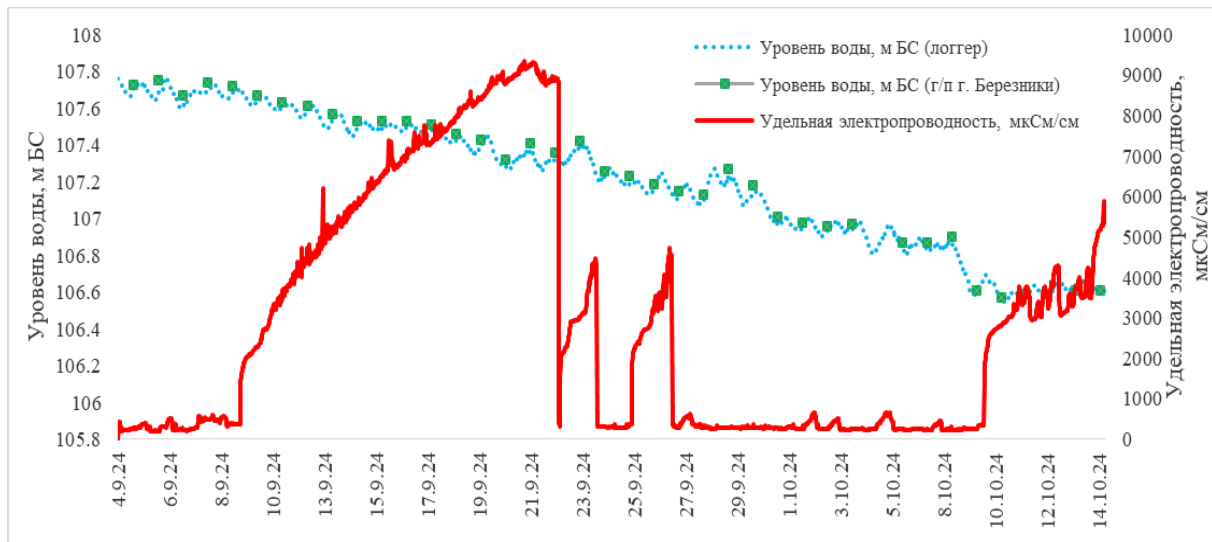


Рис. 4. Хронологический график внутрисуточных колебаний уровней воды и удельной электропроводности

### Заключение

В работе отражена сезонная изменчивость показателя удельной электропроводности, связанная с режимом работы Камской ГЭС и сменой фаз водного режима. В теплый период наблюдается вертикальная стратификация и высокая удельная электропроводность в придонном слое, тогда как зимой водные массы однородны. Эти изменения связаны с переменным подпором от дамбы Камской ГЭС и фильтрационными разгрузками. Также отмечены значительные внутрисуточные колебания электропроводности. Для изучения этих феноменов, важных для устойчивого технического водоснабжения, необходимо внедрение автоматических систем измерения качества воды и гидрологических характеристик.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 124020500053-6).*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лепихин А.П., Опутин М.А. Особенности гидрологического режима зоны выклинивания подпора Камского водохранилища и его влияние на устойчивость технического водоснабжения предприятий г. Березники // Горное эхо. – 2024. – № 1 (94). – С. 7-12. – DOI: 10.7242/echo.2024.1.2.
2. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ. Т. 9. Ч. I. Река Кама от поселка Керчевский до города Чайковский. – СПб.: ГБУ «Волго-Балт», 2018. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ. Т. 9. Ч. I. Река Кама от поселка Керчевский до города Чайковский: составлен по данным на начало навигации 2000 г. – СПб.: М-во транспорта РФ, Речфлот, 2000.
3. Куликов Г.И. Влияние сброса химической промышленности на минерализацию воды Камского водохранилища в районе г. Березники // Материалы всесоюзного совещания по вопросам эксплуатации Камского водохранилища. – Пермь, 1959. – Вып. 2. – С. 1-13.
4. 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.
5. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С., Паршакова Я.Н. Плотностные эффекты, обусловленные неоднородностью распределения минерализации воды различного генезиса в равнинных водохранилищах // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2024. – Т. 60, № 4. – С. 533-544. – DOI: 10.31857/S0002351524040094.
6. Лепихин А.П., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С., Опутин М.А., Синцова Т.Н., Исахов А.А. Опыт применения логгеров для исследования динамики состояния водных объектов, расположенных в зонах активного техногенеза // Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление. – 2024. – № 6. – С. 81-94. – DOI: 10.35567/19994508-2024-6-81-94.
7. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Богомолов А.В., Опутин М.А., Синцова Т.Н. Особенности внутрисуточных колебаний показателей качества воды, наблюдаемых в Камском водохранилище // Географический вестник. – 2024. – № 3. – С. 70-82. – DOI: 10.17072/2079-7877-2024-3-70-82.

УДК 549.324.31:[552.542+553.632]

DOI:10.7242/echo.2025.1.2

**ТИПОМОРФНЫЕ ПРИЗНАКИ ПИРИТА ИЗ ПОДСОЛЯНЫХ МЕРГЕЛЕЙ  
ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ  
(НА ПРИМЕРЕ ИЗВЕРСКОГО УЧАСТКА)**

О.В. Коротченкова

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** В мергелях, подстилающих соляную залежь Верхнекамского месторождения калийных солей, присутствует пиритовая минерализация. Выделено несколько генераций, которые отличаются по морфологии кристаллов и стяжений, условиям образования, а также по времени формирования относительно стадий литогенеза. Приведена характеристика и генезис каждой из них. Определено, что специфика пиритовой минерализации подсоляных пород месторождения обусловлена эвапоритовыми условиями осадконакопления, наличием терригенной примеси глинистого и органического материала, а также миграцией рассолов на стадии катагенеза.

**Ключевые слова:** пирит, Верхнекамское месторождение калийных солей, эвапоритовое минералообразование, сульфатредукция.

### Введение

К настоящему времени кадастр минералов, обнаруженных в породах Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМС), насчитывает около 150 видов, которые по условиям образования подразделяются на несколько групп (диагенетические, катагенетические, терригенные и др.). Некоторые минералы являются «сквозными» и формируются на разных стадиях преобразования соляных пород, а какие-то характерны для конкретной стадии, то есть могут служить индикаторами. Поэтому изучение особенно-