

17. Сметанников А.Ф., Шанина С.Н. Проблема диагностики и извлечения органических соединений благородных металлов в некоторых породах // Органическая минералогия: материалы IV Рос. совещ. с междунар. участием / ИЭМ РАН [и др.]. – Черногоровка, 2013. – С. 142-145.
18. Способ качественного и количественного определения органических соединений благородных металлов в породах различного состава: пат. № 2354967 Рос. Федерация: МПК G 01 N 30/06 (2006.01) / Сметанников А.Ф., Серебряный Б.Л., Красноштейн А.Е.; заявитель и патентообладатель ЗАО «Уралкалий-Технология». – № 2007134762/28; заявл. 18.09.2007; опубл. 10.05.2009. Бюл. № 13.
19. Шумилова Л.В. Геолого-технологическая классификация золотосодержащих руд с дисперсными формами нахождения металла // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 4. – С. 215-219.
20. Цудзи Д. Органические синтезы с участием комплексов переходных металлов / пер. с англ. Л.И. Денисович. – М.: Химия, 1979. – 256 с.: ил.
21. Хайрулина Л.А. Месторождения золота в черных сланцах // Студенческий научный форум – 2015: материалы VII Междунар. студенч. науч. конф. – Текст электронный – URL: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015011421>.
22. Новожилов Ю.И., Гаврилов А.М. Золото-сульфидные месторождения в углеродисто-терригенных толщах. – М.: ЦНИГРИ, 1999. – 175 с.
23. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия чёрных сланцев. – Л.: Наука, 1988. – 271 с.: ил.

УДК 556

DOI:10.7242/echo.2023.3.2

ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИСУТОЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ В КАМСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

А.П. Лепихин, А.В. Богомолов, Т.Н. Синцова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Традиционно при исследовании качества воды в поверхностных водных объектах рассматриваются и анализируются их сезонные колебания. Применение современных методов измерений показало, что наряду с данными колебаниями в крупных водных объектах могут наблюдаться и оказывать значимое влияние на устойчивость систем водопользования значительно более короткопериодные колебания. В данной работе, на основе использования многопараметрического измерителя MIDAS компании Valeport, рассматриваются внутрисуточные колебания ряда физических показателей качества воды в Камском водохранилище на примере района г. Березники и Чусовского плеса в районе города Перми. Показана существенность данных колебаний, в первую очередь, для мутности воды. Данные особенности динамики показателей качества воды должны учитываться как при организации систем мониторинга поверхностных водных объектов, так и регламентации на них техногенных воздействий.

Ключевые слова: Водохранилища, внутрисуточные колебания, физические показатели, регламентация, взвешенные вещества.

Введение

Потребительские свойства воды водных объектов определяются совокупностью физических и химических показателей качества воды. Так как химические показатели качества воды, как правило, достаточно тесно связаны с физическими, поэтому исследование временной изменчивости данных показателей представляет значительный как практический, так и теоретический интерес.

В настоящее время, как правило, рассматривается и анализируется сезонная динамика рассматриваемых показателей, а также междугодичные колебания. Так же указывается на возможные колебания данных показателей, связанные с турбулентными пульсациями с характерным периодом $10-10^2$ с. Это нашло отражение в соответствующих нормативно – методических документах, связанных с отбором проб воды [1, 2]. Однако внедрение в последние годы автоматических систем измерений, показало, что спектр возможных колебаний показателей качества воды значительно шире. При этом суще-

ственное значение могут иметь внутрисуточные колебания с частотами $10^{-3} - 10^{-5}$ 1/с. Так как эти колебания, как правило, достаточно пространственно локализованы, они в тоже время могут представлять наибольшую угрозу для систем водоснабжения.

В целом различными авторами [3-7] достаточно отчетливо выделяются следующие характерные периоды:

- 1) климатические с характерным временным масштабом $T_{\text{клим}} \geq 30 \div 50$ лет;
- 2) междугодовые $1 \leq T_{\text{меж}} \leq 30$ лет;
- 3) сезонные $T_{\text{сез}} \sim 10^7$ с;
- 4) синоптические $T_{\text{син}} \sim 6 \div 8 \cdot 10^5$ с;
- 5) суточные $T_{\text{сут}} \sim 10^5$ с;
- 6) когерентные $T_{\text{ког}} \sim 10^4$ с;
- 7) турбулентные $10^{-1} \leq T_{\text{тур}} \leq 10^3$ с.

При этом, если долгопериодные колебания показателей качества воды, непосредственно связанные с гидрологическим режимом водных объектов, обуславливаются внешними факторами, то короткопериодные формируются, в значительной мере, под воздействием внутриводоемных процессов.

Исследованию колебаний гидродинамических, физических и химических показателей качества воды посвящено достаточно много исследований [5-7]. При этом, естественно, основное место занимает исследование колебаний расходов, являющихся центральным вопросом инженерной гидрологии.

Сами временные масштабы процессов, формирующихся под воздействием внутриводоемных и внешних факторов, в первую очередь, зависят от масштабов самих рассматриваемых водных объектов. При этом в достаточно крупных водохранилищах колебания синоптического и внутрисуточного масштаба могут формироваться под воздействием совокупности как внутриводоемных, так и внешних факторов. Для характеристики колебаний таких масштабов часто используется термин «когерентные колебания», при этом, хотя сам термин «когерентные» в общем случае означает согласованные, коррелированные колебания. Так как внутриводоемные процессы могут формировать колебания, связанные с наличием соответствующих крупномасштабных вихревых структур, то, как правило, в исследовании водных объектов под когерентными понимают колебания, обусловленные макротурбулентными процессами.

Наименее исследованными, в тоже время характеризующимися существенной амплитудой колебаний, а, соответственно, представляющими наибольший практический интерес являются колебания синоптического и внутрисуточного масштабов. Это связано, в первую очередь, с трудоемкостью проведения таких исследований. В тоже время необходимость решения задач обеспечения устойчивого водоснабжения требует проведения таких исследований.

В последнее время в связи с интенсивным внедрением автоматизированных систем измерений интерес к исследованию колебаний такого масштаба существенно усилился. В работе [7] представлены результаты обширных исследований по колебаниям мутности воды с 20-минутным интервалом. Показано, что данные колебания связаны с крупномасштабной турбулентностью.

Существенные колебания качества воды синоптического масштаба, наблюдаемые на Камском водохранилище в районе г. Березники, были рассмотрены в [8, 9]. Было показано, что в теплый период, при отметках уровней воды в водохранилище, близких к НПУ, может наблюдаться существенная вертикальная плотностная стратификация, при которой в придонном слое минерализация воды на порядок выше, чем в поверхностном. Продолжительность таких явлений составляет $\sim 3-8$ суток. Кроме этих колебаний существенное влияние на устойчивость водоснабжения могут оказывать и внутрисуточные изменения, рассматриваемые как когерентные.

В ходе проведения суточных экспериментов параллельно выполнялись измерения мутности (концентрации взвешенных частиц через оценку оптической плотности воды), температуры, удельной электропроводности, а также скорости и направления течения. Ранее, в связи с исследованием влияния режима работы Камской ГЭС на качество подаваемой в г. Пермь воды, были опубликованы результаты исследования внутрисуточных колебаний удельной электропроводности, скорости и направления течения [10-12], при этом измерения проводились на расстоянии 9 км, в непосредственной близости от водозабора ЧОС (Чусовских очистных сооружений) г. Перми.

Было показано, что характер колебаний как течений, так и удельной электропроводности воды, в значительной мере, определяется внутрисуточным режимом работы Камской ГЭС. В связи с этим существенный интерес представляет структура и характер внутрисуточных колебаний рассматриваемых параметров на значительном расстоянии от ГЭС, где ее непосредственное влияние не должно проявляться, в тоже время они способны оказывать влияние на устойчивость систем водопользования.

Материалы и методы

Характеристика водного объекта, описание измерительного комплекса и технологии проведения измерений. Исследования структуры внутрисуточных колебаний проводились в 2021 году на двух участках Камского водохранилища: в районе города Березники и на Чусовском плесе в районе города Перми. На рассматриваемых участках водохранилища наблюдается значительная внутригодовая динамика изменения уровней воды, которые в отдельные годы превышают 7 метров.

Первый исследуемый участок – участок Камского водохранилища в районе г. Березники, находящийся в зоне переменного подпора от Камской ГЭС. Зона выклинивания подпора здесь при сработке водохранилища перемещается вниз по течению, как правило, это наблюдается в период предвесенней сработки уровня, в этот период для данного участка характерны речные условия. В районе г. Березники период естественного режима уровня составляет от 1 до 3,5 месяца. При уровнях близких к НПУ (нормальный подпорный уровень) подпор распространяется до района пгт. Тюлькино – п. Керчево. Характерной особенностью данного участка водохранилища, представленного на рисунке 1, является очень высокая, оказываемая на него техногенная нагрузка, связанная как с точечными, так и диффузными источниками загрязнения [8, 9, 13, 14].

Для этой зоны характерны фильтрационные разгрузки подземных высокоминерализованных вод как естественного, так и техногенного генезиса.

Второй исследуемый участок – Чусовской плес Камского водохранилища, находящийся в зоне постоянного подпора от плотины Камской ГЭС (рис. 2). Чусовской плес образован слиянием рек Сылвы и Чусовой. Как показали ранее выполненные исследования [15], характерной особенностью данного района водохранилища является то, что водные массы в зимний период характеризуются значительной вертикальной неоднородностью. В придонных горизонтах транспортируются более плотные, характеризующиеся повышенной жесткостью воды р. Сылва, достигающей 13-14 единиц, а в приповерхностных горизонтах – менее плотные воды р. Чусовой с меньшей жесткостью воды. Высокая закарстованность водосборной территории р. Сылвы обуславливает не только повышенную жесткость ее воды, но и повышенную минерализацию и плотность по сравнению с водой р. Чусовой. Данные различия становятся заметными в период зимней межени, когда эти реки переходят на подземный режим питания. Близость данного участка к плотине Камской ГЭС (расстояние до гидроузла составляет порядка 16 км) обуславливает влияние неравномерности сбросов воды из верхнего бьефа ГЭС в нижний (резкие изменения сбросных расходов воды через плотину гидроузла) на гидродинамический режим исследуемого участка водоема.



Рис. 1. Карта – схема рассматриваемого участка р. Кама (Камское водохранилище) в районе г. Березники

Минерализация, а, соответственно, и плотность воды р. Сылвы вследствие особенностей почвенно-геологического строения ее бассейна, из-за его высокой закарстованности, как правило, существенно выше минерализации р. Чусовой. Это приводит к весьма специфическому гидрохимическому режиму Чусовского плеса. Более минерализованные, более плотные воды р. Сылвы «подтекают» под менее плотные воды р. Чусовой, в свою очередь воды р. Чусовой «надтекают» на воды р. Сылвы. Гидрологические, гидрохимические, гидродинамические аспекты слияния этих двух водотоков обсуждались в [10, 11, 15]. Соответственно ниже слияния рек Сылвы и Чусовой, в том числе и в районе размещения Чусовского водозабора г. Перми, наблюдается достаточно устойчивая двухслойная структура водной массы, когда в верхних горизонтах вода по своим свойствам близка к воде р. Чусовой, а в нижних горизонтах – к воде р. Сылва. При этом наблюдается весьма отчетливо выраженная граница «слой скачка» между этими водными массами.



Рис. 2. Карта – схема Чусовского плеса Камского водохранилища

Плотность воды определяется как ее температурой, так и минерализацией. Однако в зимний период в условиях достаточно однородного распределения температуры воды, как по глубине, так и акватории водного объекта, определяющим является минерализация воды. Однако общая минерализация воды, являясь химическим показателем, требует для своего определения достаточно сложной громоздкой процедуры. Поэтому при проведении полевых исследований значительно более удобно использовать непосредственно измеряемый показатель – удельную электропроводность воды. Поэтому непосредственные измерения были выполнены с использованием данного показателя. Основными преимуществами применения данного показателя являются:

- его очень хорошая линейная связь с минерализацией. Как показали проведенные многочисленные исследования, эти два показателя имеют очень устойчивую связь, коэффициент корреляции Пирсона составляет $R^2 \sim 0,96$;

- при проведении измерений удельной электропроводности вносятся минимальные возмущения в водную массу, что обуславливает минимальные метрологические искажения измеряемого показателя.

Основным прибором, используемым при проведении данного комплекса измерений, был многопараметрический измеритель Midas ECM производства компании Valeport [16]. Данный прибор является точечным универсальным измерителем параметров течения, разработанным для длительной работы и простого развертывания. Архитектура электроники Valeport позволяет подключать множество дополнительных датчиков, а также использовать различные варианты коммуникаций, что делает его одним из немногих мультипараметрических измерителей скорости течения, позволяя работать измерителю как в режиме реального времени с помощью длинного кабеля (до нескольких тысяч метров), так и при автономных развертываниях. Диапазон из-

меряемых скоростей потока для данного прибора находится в пределах от 0,001 м/с до 5 м/с. Данный прибор является измерителем скоростей течений электромагнитного типа, базирующимся на эффекте Фарадея. Он позволяет также определять физические свойства водной массы: электрическую проводимость, температуру, давление, мутность. Показатель мутности воды тесно связан с качеством воды. Данный показатель определяет прозрачность воды. При прохождении через столб воды солнечный свет рассеивается. Чем больше величина рассеивания света, тем выше мутность образца воды. На этом принципе основана работа датчика мутности. Измеритель мутности регистрирует свет, рассеянный частицами, взвешенными в воде, генерируя выходное напряжение, пропорциональное мутности или взвешенным твердым веществам. Рассматриваемая в данной работе модель Midas ЕСМ имеет оптическую конструкцию, которая ограничивает измерительный объем в пределах 5 см от датчика, что позволяет проводить измерения вблизи дна, сводя к минимуму ошибочные отражения в ограниченных пространствах.

На исследуемых водных объектах прибор погружался на заданные глубины, после чего начиналась регистрация измеряемых величин. Как в случае измерений на участке Чусовского плеса, так и в районе города Березники продолжительность измерений составляла около 1 суток.

Обсуждение полученных результатов

Динамика физических параметров качества воды. Внутрисуточная динамика физических показателей качества воды представляет наибольший интерес для оценки эффективности, объективности системы мониторинга водных объектов, в первую очередь, производственного.

На рисунке 3 представлены хронологические графики содержания взвешенных наносов, удельной электропроводности, температуры воды и модуля скорости в районах г. Березники и ЧОС г. Перми. Кроме хорошо известной сезонной динамики показателей качества воды отчетливо выделяются, не учитываемые ранее, их существенные короткопериодные колебания. В рассматриваемом районе ЧОС г. Перми наблюдаются волнообразные колебания мутности, температуры воды и электропроводности с амплитудой, достигающей в ряде случаев приблизительно 50% измеряемой величины, а в районе г. Березники – колебания мутности и скорости потока (рисунок 3).

Как видно из рисунка 3, значения рассматриваемых показателей качества воды, представленные с 1-секундной и 5-минутной дискретностью, существенно неоднородны в течении суток. Для оценки внутрисуточных колебаний в динамике физических показателей качества воды для р. Кама (Камское водохранилище) в районах ЧОС г. Перми и г. Березники были взяты однородные участки рядов наблюдений (таблица 1).

На основании результатов статистической обработки (таблица 1) значения мутности воды изменяются от 1,263 мг/л до 2,375 мг/л в районе ЧОС и в диапазоне 5,638 – 9,713 мг/л в районе г. Березники. При этом очень важно подчеркнуть, что коэффициенты вариации рассматриваемых колебаний весьма близки и составляют 0,11 – 0,124¹.

Само распределение мутности воды при относительно небольших значениях коэффициента вариации $C_v \sim 0,1$ как для первого, так и для второго участка характеризуется более высоким эксцессом $E_x \sim 2,82$ для района г. Березники, чем для района ЧОС $E_x \sim 0,886$. По-видимому, их распределение описывается сопряжением

¹ Согласно действующему нормативному документу [17] допускается превышение содержания взвешенных веществ в контрольном створе над фоновым не более чем на 0,25 мг/л.

двух механизмов, центральная часть имеет распределение близкое к нормальному, периферия описывается распределением с «тяжелым хвостом» (рисунок 4), где D, SW–W – соответственно, критерии оценки нормальности распределения Колмогорова и Шапиро-Уилка.

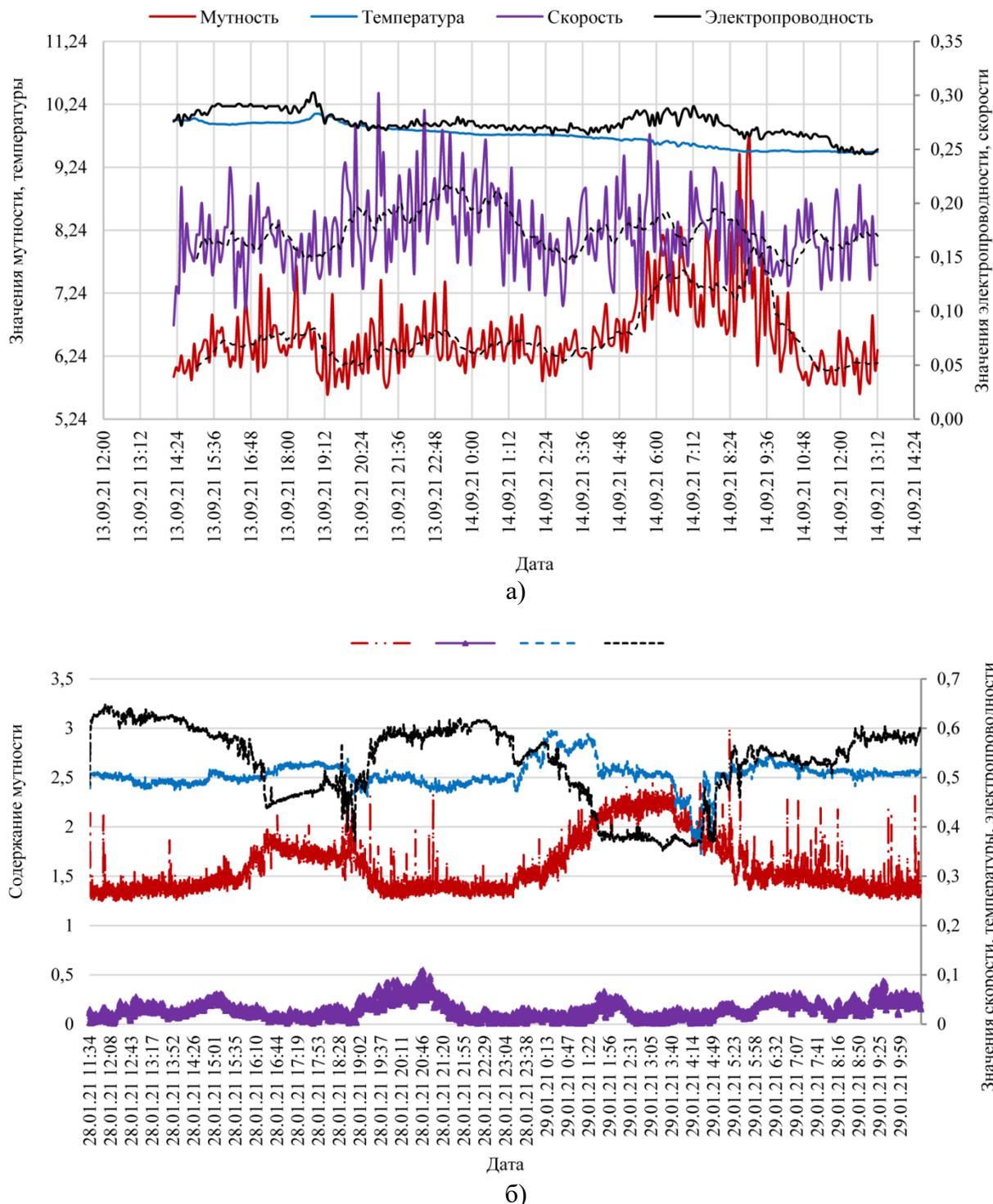


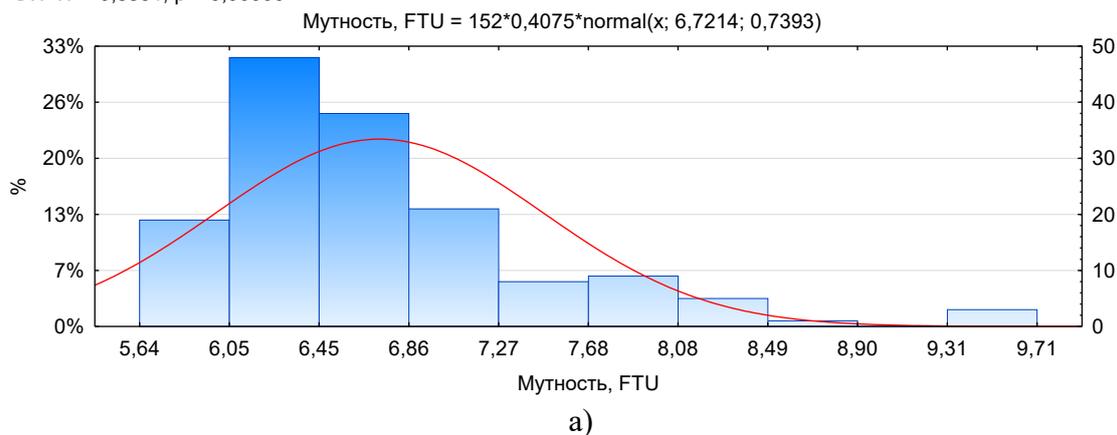
Рис. 3. График хода наблюдаемых значений мутности в ЕМФ (единицах мутности по формазину), температуры ($^{\circ}\text{C}$), скорости (м/с), электропроводности (мСм/см) для р. Кама а) в районе г. Березники за 13.09.2021 14:17 по 14.09.2021 13:12 с интервалом в 5 минут на глубине 10 м, б) в районе ЧОС за 28.01.2021 11:34:10 – 29.01.2021 10:33:15 с интервалом в 1 секунду на глубине 7 м

Таблица 1

Статистические характеристики рассматриваемых показателей мутности воды, скорости потока, температуры воды и электропроводности для р. Кама в районах ЧОС г. Перми и г. Березники

Название параметра	Объем выборки	Среднее значение	Медиана	Мини-мальное значение	Макси-мальное значение	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Коэффициент асимметрии	Экссесс
В районе ЧОС г. Перми с 1-секундным интервалом на глубине 7 м									
Мутность, ЕМФ	6376	1,530	1,463	1,263	2,375	0,190	0,124	1,141	0,886
Скорость, м/с	8077	0,029	0,025	0,001	0,109	0,017	0,589	0,789	0,558
Температура, °С	3136	0,499	0,497	0,462	0,538	0,015	0,030	0,432	-0,659
Удельная электропроводность, мСм/см	8280	0,530	0,552	0,352	0,648	0,079	0,150	-0,780	-0,521
В районе г. Березники с 5-минутным интервалом на глубине 10 м									
Мутность, ЕМФ	152	6,721	6,557	5,638	9,713	0,739	0,110	1,483	2,820
Скорость, м/с	152	0,171	0,168	0,105	0,264	0,032	0,186	0,371	-0,153
Температура, °С	32	9,498	9,498	9,488	9,513	0,007	0,001	0,606	-0,378
Удельная электропроводность, мСм/см	70	0,286	0,289	0,272	0,302	0,006	0,022	-0,252	0,070

Мутность, FTU: $D = 0,1286$; $p < 0,0500$; Lilliefors- $p < 0,01$;
 $N = 152$; Mean = 6,7214; StdDv = 0,7393; Max = 9,713; Min = 5,638;
 SW-W = 0,8851; $p = 0,00000$



Мутность: $D = 0,1522$; $p < 0,0100$; Lilliefors- $p < 0,01$;
 $N = 6376$; Mean = 1,5295; StdDv = 0,1896; Max = 2,375; Min = 1,263

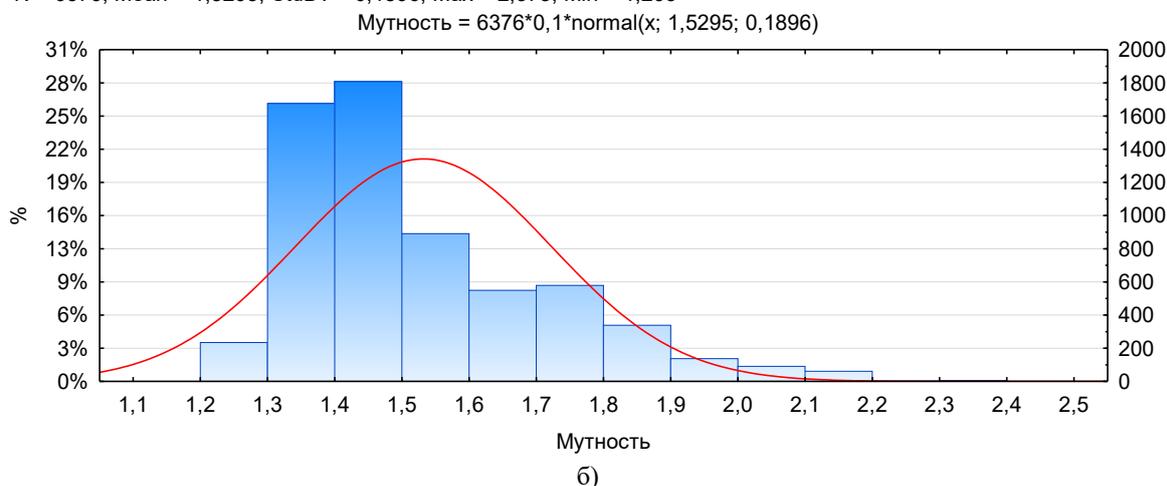


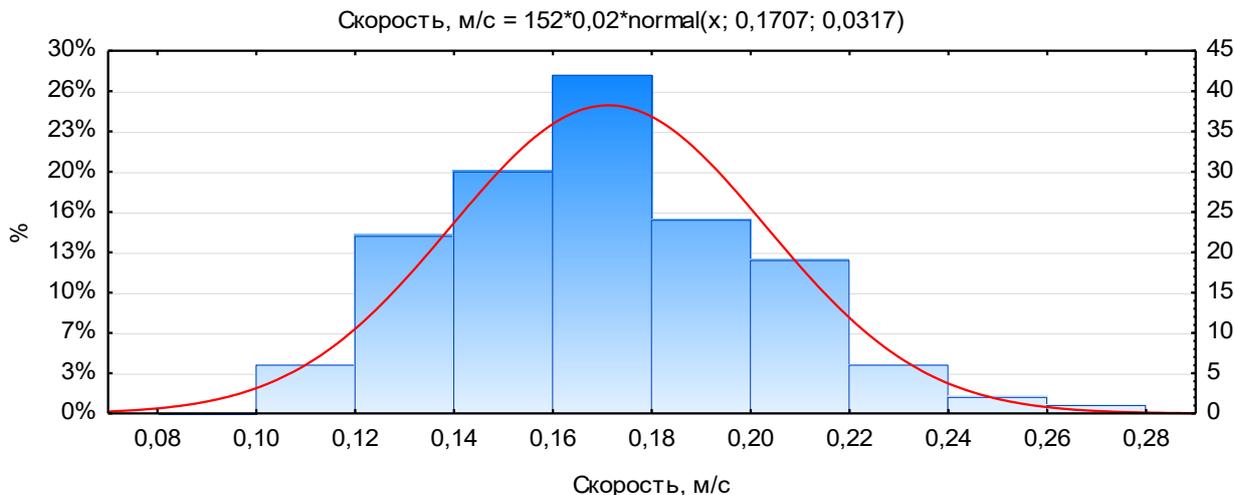
Рис. 4. График плотности распределения мутности воды для р. Кама (Жамское водохранилище):
 а) в районе г. Березники за 14.09.2021 0:27:28 – 13:02:28 с интервалом 5 мин на глубине 10 м,
 б) в районе ЧОС за 28.01.2021 13:18:11 – 29.01.2021 1:46:10, 29.01.2021 5:19:11 – 10:33:15
 с интервалом 1 сек на глубине 7 м

По-видимому, центральная часть распределения формируется под воздействием турбулентных пульсаций, а периферия – под воздействием крупномасштабных вихрей. Такими же особенностями распределения характеризуются колебания не только мутности, но и характеристики скорости потока и температуры воды в районах ЧОС и г. Березники (рис. 5, 6).

На нормальность колебаний физических и гидродинамических параметров под воздействием турбулентности потока указывается многими авторами [6, 7, 18, 19]. Данная особенность, по-видимому, связана со значительно меньшим вкладом крупномасштабных вихрей в их формирование. Существенный, принципиальный вопрос представляет установление причины наблюдаемых ярко выраженных колебаний мутности воды с периодом $T \sim 5-6$ часов (рисунок 7).

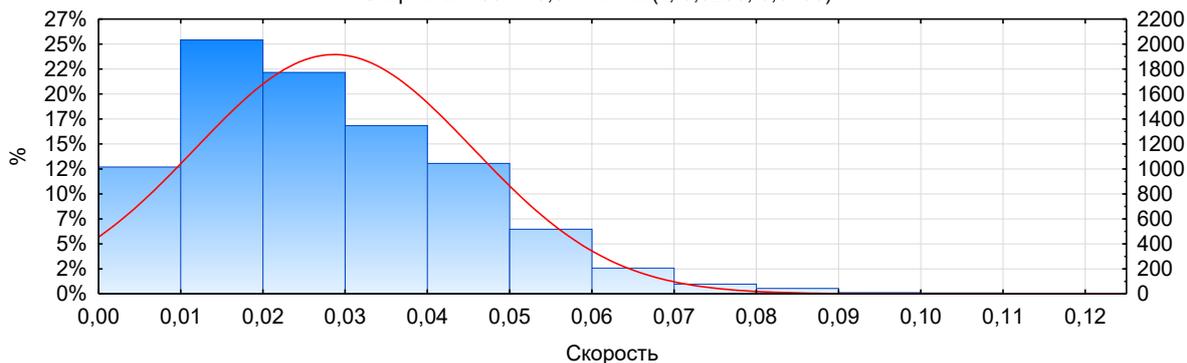
Если короткопериодные колебания мутности в районе ЧОС обуславливаются турбулентными пульсациями с ярко выраженными характерными временными масштабами $T \sim 42$ мин, то в колебаниях в районе г. Березники отчетливо выделены периоды $\sim 0,25$ и 5 часов. Этот период 5 часов согласуется с характерным временем вертикального перемешивания водных масс, вследствие вертикальной турбулентной диффузии.

Скорость, м/с: $D = 0,0454$; $p < n.s.$; Lilliefors- $p < 1$;
 $N = 152$; Mean = 0,1707; StdDv = 0,0317; Max = 0,264; Min = 0,105;
 SW-W = 0,9841; $p = 0,0783$



а)

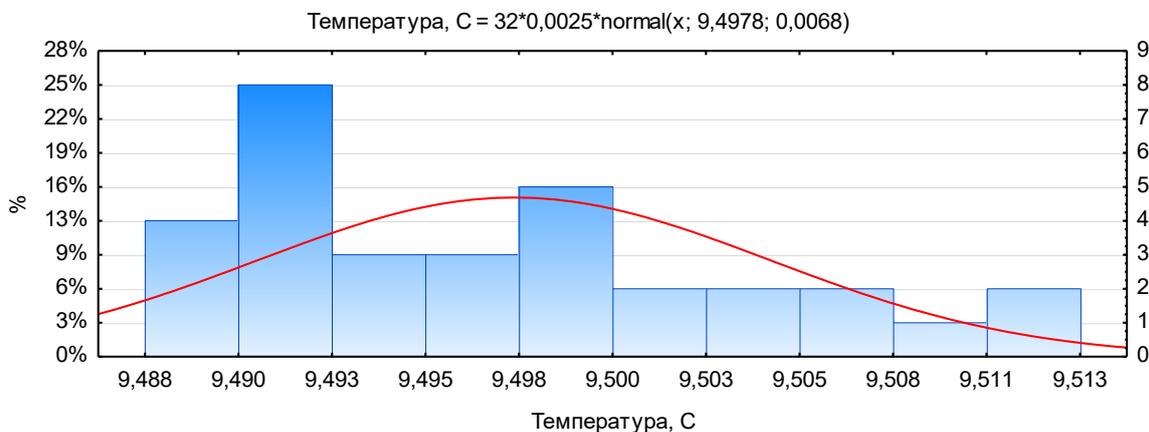
Скорость: $D = 0,0903$; $p < 0,0100$; Lilliefors- $p < 0,01$;
 $N = 8077$; Mean = 0,0285; StdDv = 0,0168; Max = 0,109; Min = 0,001
 Скорость = $8077 \cdot 0,01 \cdot \text{normal}(x; 0,0285; 0,0168)$



б)

Рис. 5. График плотности распределения скорости р. Кама (Камское водохранилище):
 а) в районе г. Березники за период измерений 14.09.2021 0:27:28 – 13:02:28 с 5-минутным интервалом на
 глубине 10 м, б) в районе ЧОС за 28.01.2021 11:34:10 – 10:33:15 с интервалом в 1 секунду на глубине 7 м

Температура, С: $D = 0,135$; $p < n.s.$; Lilliefors- $p < 0,2$;
 $N = 32$; Mean = 9,4978; StdDv = 0,0068; Max = 9,513; Min = 9,488;
 SW-W = 0,9402; $p = 0,0760$



а)

Температура: $D = 0,0919$; $p < 0,0100$; Lilliefors- $p < 0,01$;
 $N = 3136$; Mean = $0,4991$; StdDv = $0,0152$; Max = $0,538$; Min = $0,462$;
 SW-W = $0,9587$; $p = 0.0000$

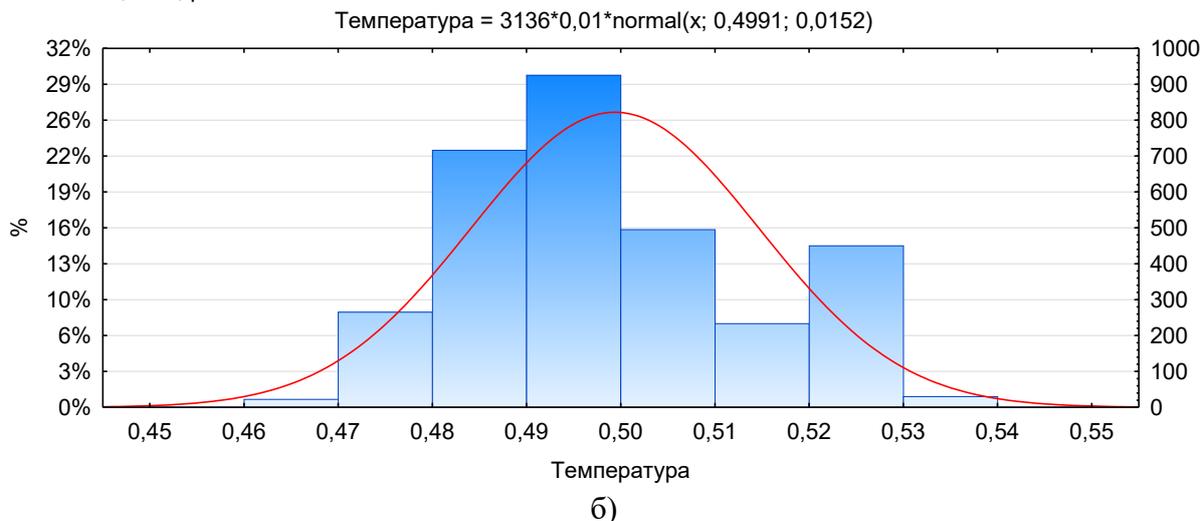


Рис. 6. График плотности распределения температуры р. Кама (Камское водохранилище):
 а) в районе г. Березники за период измерений 14.09.2021 8:37:28 – 11:12:28 с 5-минутным интервалом на глубине 10 м, б) в районе ЧОС за 28.01.2021 12:55:12 – 21:53:14 с интервалом в 1 секунду на глубине 7 м

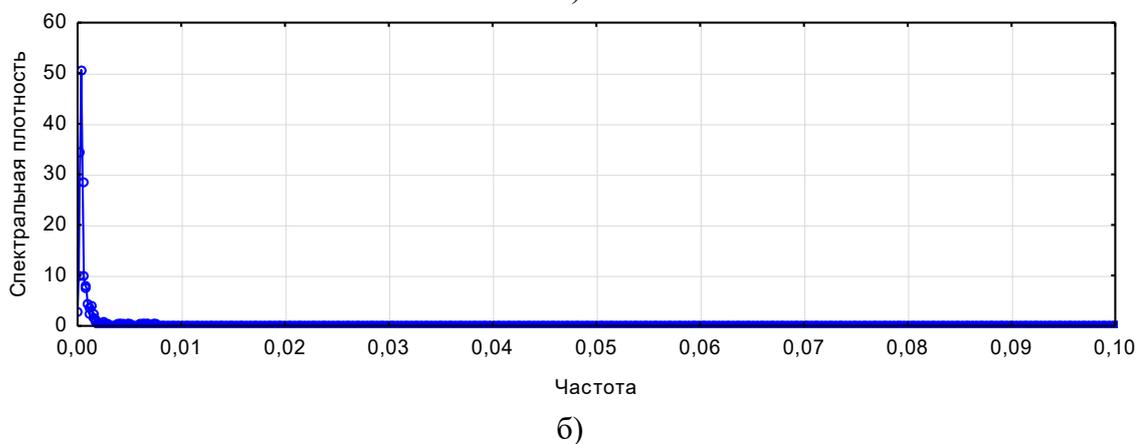
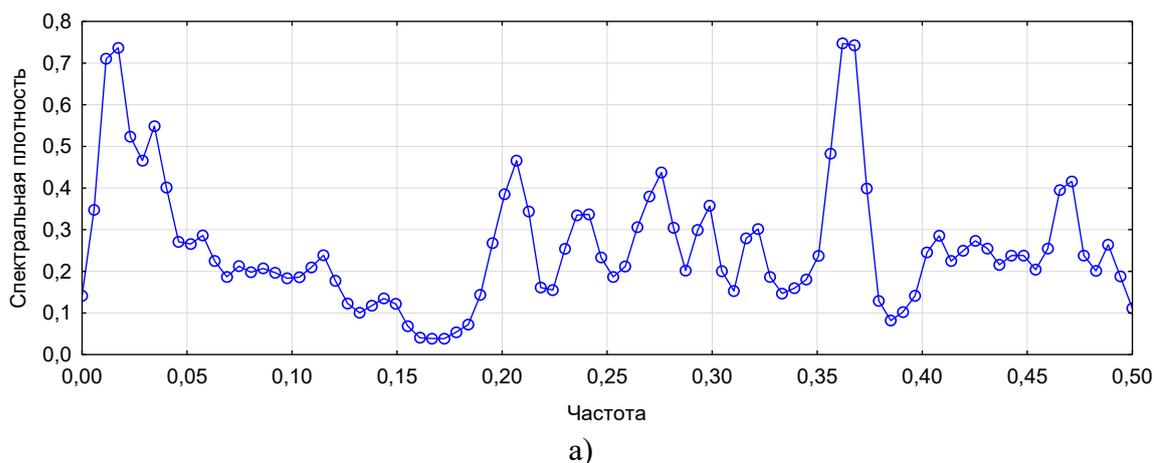


Рис. 7. График спектральной функции мутности в р. Кама (Камском водохранилище):
 а) в районе г. Березники за период измерений 13.09.2021 14:17:29 – 14.09.2021 4:47:28 с 5-минутным интервалом, б) в районе ЧОС за 28.01.2021 13:18:11 – 29.01.2021 1:46:10, 29.01.2021 5:19:11 – 10:33:15 с интервалом в 1 секунду на глубине 7 м

Выводы

Использование современных измерительных комплексов открывает принципиально новые возможности в решении вопросов организации систем мониторинга поверхностных водных объектов. В первую очередь, это относится к мониторингу, регламентации отведения взвешенных веществ, являющихся наиболее распространенным компонентом загрязнения сточных вод. Принципиальная особенность действующей системы регламентации отведения взвешенных веществ состоит в том, что она строится на оценке допустимых превышений их содержания в контрольном створе над фоновым. Сложность решения этой задачи состоит в стохастическом характере динамики взвешенных наносов. Поэтому традиционная схема регламентации взвешенных веществ представляется некорректной при частоте измерений даже 1/сут, так как в водных объектах наблюдаются значительные внутрисуточные колебания. При этом принципиально важно подчеркнуть, что соответствующие внутрисуточные колебания контролируемых показателей качества воды, обусловленные макротурбулентными процессами, необходимо в обязательном порядке учитывать при регламентации их отведения. Введенная более 80 лет назад традиционная схема регламентации отведения взвешенных веществ [20] не учитывает достаточно сложный стохастический характер их динамики.

В настоящее время вопросы анализа когерентных структур формирующихся на границах разделов водных масс становятся все более актуальными. Это связано не только с гидродинамическими формированиями устойчивых слоистых структур в поверхностных водных объектах, но и с задачами практического использования этих эффектов в задачах охраны вод и обеспечения устойчивого водопользования. Из-за существенного различия минерализации, а, соответственно, и плотности вод рек Сылвы и Чусовой, в зимний период, в зоне их слияния наблюдается значительная вертикальная неоднородность водных масс. Эта вертикальная неоднородность водных масс используется для улучшения качества забираемой воды. На эффективность селективного отбора воды существенное влияние оказывают формирующиеся в данном районе волновые структуры. Данные оценки имеют принципиальное значение для организации устойчивого селективного забора воды с требуемыми потребительскими свойствами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ проект № 20-45-596028 р_НОЦ_Пермский край «Построение гидродинамических моделей устойчивых плотностных структур и обратных течений, формирующихся в водохранилищах под действием техногенных факторов».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отбор поверхностных вод суши и очищенных сточных вод: утв. Росгидромет 10.05.2012. – Ростов н/Д, 2012. – 39 с.
2. ПНД Ф 12.15.1-08 Методические указания по отбору проб для анализа сточных вод: утв. ФГУ Фед. центр анализа и оценки техногенного воздействия 5.05.2015 г. – М., 2015. – 45 с.
3. Монин А.С., Красицкий В.П. Явления на поверхности океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 375 с.: ил.
4. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. – М.: Наука, 1965-1967. – 639 с.
5. Веницианов Е.В. Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах / Е.В. Веницианов, А.П. Лепихин; под науч. ред. А.М. Черняева; ФГУП КамНИИВХ. – Екатеринбург, 2002. – 236 с.
6. Лепихин А.П., Синцова Т.Н. К статистике показателей качества отводимых сточных вод // Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление. – 2023. – № 2. – С. 23-46. – DOI: 10.35567/19994508-2023-2-2.
7. Чалов С.Р., Цыпленков А.С. Роль крупномасштабной турбулентности в изменении мутности речных вод // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2020. – № 3. – С. 34-46.

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