

ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 556.555.7

DOI: 10.17072/2079-7877-2026-1-76-85

EDN: XWAGKG

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА
Р. КАМЫ (КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА) В ЗИМНИЙ ПЕРИОД
В РАЙОНЕ СОЛИКАМСКО-БЕРЕЗНИКОВСКОГО ПРОМУЗЛА****Анатолий Павлович Лепихин¹, Андрей Владимирович Богомолов², Максим Андреевич Опутин³,
Татьяна Николаевна Синцова⁴**¹ Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, Камский филиал, г. Пермь, Россия^{1, 2, 3, 4} Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, Россия¹ lepihin49@mail.ru, eLibrary Author ID: 147950, Scopus ID: 56370650100, SPIN-код: 7621-8001² whitewing85@mail.ru, eLibrary Author ID: 1004685, Scopus ID: 57211970385, SPIN-код: 2835-5475³ maksimoputka@yandex.ru, eLibrary Author ID: 1237235, SPIN-код: 7710-7577⁴ tanya_sinzova@mail.ru, eLibrary Author ID: 1226076, Scopus ID: 57474212500, SPIN-код: 7569-1702

Аннотация. Добыча и обогащение руд калийных и магниевых солей на месторождениях требуют расхода значительного количества водных ресурсов. Близость таких предприятий не может не влиять на качество воды в водных объектах. Хлориды являются основным лимитирующим показателем качества воды в р. Каме (Камском водохранилище) в районе Соликамско-Березниковского промузла. На основе материалов учащенных измерений содержания хлоридов в зимний период рассмотрены факторы и механизмы, определяющие изменения их концентраций. Установлено значимое увеличение данного показателя в период зимней межени. В то же время в данный период, по данным гидрологического поста р. Кама – пгт Тюлькино, расходы весьма стабильны. Для анализа наблюдаемых особенностей была проведена детализированная оценка наблюдаемых потоков поллютантов. Было показано наличие отчетливой, статистически значимой связи между увеличением привноса хлоридов и снижением уровня воды р. Камы. Показано, что данная особенность может быть достаточно хорошо объяснена наличием латентных источников загрязнения, характеризующихся фильтрационным механизмом поступления в водный объект.

Выполненные балансовые оценка показали, что суммарный вклад таких источников может превышать 60 % в общем потоке хлоридов. При этом их доля существенно возрастает по мере сработки водохранилища.

Обоснована принципиальная недостаточность частоты отбора и проведения анализа проб воды на гидрологических постах сети Росгидромета. Наблюдения с частотой один раз в месяц не могут корректно отражать динамику гидрохимических процессов на водных объектах, подверженных значительным антропогенным нагрузкам.

Рассмотренные особенности формирования гидрохимического режима необходимо учитывать при регламентации техногенных воздействий на водные объекты, расположенные в зонах активного техногенеза.

Ключевые слова: водохранилища, качество воды, водоснабжение, зимний период

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания «Исследование закономерностей эволюции гидросферы в районах интенсивного недропользования с целью минимизации экологического риска и обеспечения устойчивости водопользования» (рег. номер НИОКТР: 124020500053-6)

Для цитирования: Лепихин А. П., Богомолов А. В., Опутин М. А., Синцова Т. Н. Особенности формирования гидрохимического режима р. Камы (Камского водохранилища) в зимний период в районе Соликамско-Березниковского промузла // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 1(76). С. 76–85. DOI: 10.17072/2079-7877-2026-1-76-85 EDN: XWAGKG



HYDROLOGY

Original article

DOI: 10.17072/2079-7877-2026-1-76-85

EDN: XWAGKG

FORMATION OF THE KAMA RIVER (KAMA RESERVOIR) HYDROCHEMICAL REGIME IN WINTER IN THE AREA OF SOLIKAMSK-BEREZNIKI INDUSTRIAL HUBAnatoliy P. Lepikhin¹, Andrei V. Bogomolov², Maksim A. Oputin³, Tatyana N. Sintsova⁴¹ Federal State Budgetary Institution Russian Research Institute for the Integrated Use and Protection of Water Resources, Kama Branch, Perm, Russia^{1, 2, 3, 4} Mining Institute of the Ural Branch of the RAS, Perm, Russia¹ lepihin49@mail.ru, eLibrary Author ID: 147950, Scopus ID: 56370650100, SPIN-code: 7621-8001² whitewing85@mail.ru, eLibrary Author ID: 1004685, Scopus ID: 57211970385, SPIN-code: 2835-5475³ maksimoputka@yandex.ru, eLibrary Author ID: 1237235, SPIN-code: 7710-7577⁴ tanya_sintsova@mail.ru, eLibrary Author ID: 1226076, Scopus ID: 57474212500, SPIN-code: 7569-1702

Abstract. Mining and concentration of potash and magnesium salt ores at the deposits require the consumption of significant amounts of water resources. These industries have a strong impact on local water bodies. Chlorides are the main limiting indicator of water quality in the Kama River (Kama Reservoir) in the area of Solikamsk-Berezniki industrial hub. On the basis of data from frequent measurements of chloride content in the winter period, the paper investigates the factors and mechanisms determining changes in the concentrations of chlorides. A significant increase of this indicator during the winter low-water period has been established. At the same time, according to the data from the Kama River hydrological post at Tyulkino settlement, the discharge is very stable in this period. To analyze the observed features, a detailed assessment of the pollutant fluxes was carried out. The study has revealed a clear, statistically significant relationship between the increase in chloride fluxes and the decrease in the water level of the Kama River. The paper shows that this feature can be explained by the presence of latent sources of pollution, characterized by a filtration mechanism of inflow into the water body.

The performed balance estimations have shown that the total contribution of such sources can exceed 60% in the total chloride flux. At the same time, their share significantly increases with the reservoir drawdown.

The paper substantiates the insufficiency of the frequency of water sampling and analysis at hydrological posts of the Roshydromet network. Monthly observations cannot correctly reflect the dynamics of hydrochemical processes in water bodies subjected to significant anthropogenic loads.

The considered features of the hydrochemical regime formation should be taken into account when regulating anthropogenic impacts on water bodies located in the zones of active technogenesis.

Keywords: water reservoir, water quality, water supply, winter period

Funding. The study was carried out with the financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the state assignment “Study of the evolutionary patterns of the hydrosphere in areas of intensive subsoil use in order to minimize environmental risks and ensure sustainable water use” (R&D registration number: 124020500053-6).

For citation: Lepikhin A. P., Bogomolov A. V., Oputin M. A., Sintsova T. N. Formation of the Kama River (Kama Reservoir) hydrochemical regime in winter in the area of Solikamsk-Berezniki industrial hub. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 1(76), pp. 76–85. DOI: 10.17072/2079-7877-2026-1-76-85 EDN: XWAGKG

Введение

Крупнейшим центром химической промышленности Урала является Соликамско-Березниковский промышленный комплекс, осваивающий одно из самых значительных в мире – Верхне-Камское – месторождение калийных и магниевых солей (ВКМКС). Вследствие добычи, переработки очень большого количества минеральных солей основной водный объект данного района – р. Кама (Камского водохранилище) – испытывает значительные техногенные нагрузки. В ранее выполненных исследованиях [9; 11; 13–16] было показано, что характерной гидрохимической особенностью рассматриваемого водного объекта в теплый период при уровнях воды, близких к НПУ, является формирование значительной вертикальной неоднородности водных масс. Наблюдаемая стратификация носит периодический характер и имеет продолжительность 5–10 суток, оказывая негативное влияние как на хозяйственное использование, прежде всего для целей водоснабжения, так и экологическое состояние водного объекта. В то же время в зимний период при значительной сработке водохранилища вертикальное расслоение водных масс не наблюдается или оно очень слабо [12]. В целом достаточно большое количество работ посвящено изучению гидрохимического режима Камского водохранилища [1; 3–8; 13–17]. При этом существенное внимание уделено построению моделей гидродинамического режима рассматриваемых процессов [16; 22], применению новых технологий (логгеров записей уровня и уд. электропроводности воды) [13].

Гидрология

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

Для данного района с очень высокой техногенной нагрузкой принципиальное значение имеет полнота и детальность учета источников загрязнения, поступающих в водный объект.

Существуют различные системы классификаций воздействий, оказываемых на водные объекты. При этом за основу могут положены те или иные признаки этих воздействий. Их определяющие признаки формируются характером решаемой задачи. Так, при установлении нормативов НДС рассматриваются актуальные [19], точечные источники. В то же время диффузные источники [2; 21], которым в последние годы стало уделяться повышенное внимание, являются рассредоточенными, характеризуются невысокой удельной интенсивностью $q \text{ уд} = \left[\frac{r}{\text{сек} \cdot \text{м}^2} \right]$, а также фильтрационным механизмом привноса поллютантов в водные объекты. При этом в отличие от точечных источников загрязнения, с позиции управления, данные источники не только не регламентируются, но и не декларируются, фактически они являются латентными, скрытыми, их характер, интенсивность могут устанавливаться только косвенным признакам, как правило, по балансовым оценкам. Для их минимизации, борьбы с данным видом загрязнения необходимы оценка их интенсивности и установление механизмов формирования источников загрязнения. При этом одним из важнейшим показателей, характеризующих механизм формирования источников загрязнения, является характер зависимости содержания лимитирующих загрязняющих веществ от расхода воды водотока приемника, особенностей внутригодовых колебаний этих зависимостей. Он определяется особенностями поступления и поведения рассматриваемых поллютантов в водных объектах. Укрупненная оценка диффузного загрязнения, поступающего в р. Кама в результате деятельности Соликамско-Березниковского промузла, была дана в [10].

Детализация и конкретизация таких оценок может быть выполнена на основе совершенствования систем наблюдения за состоянием водного объекта, а также данных, полученных в результате наблюдений, проводимых в последние годы.

Проведенная обработка материалов ежесуточных наблюдений за гидрохимическим режимом р. Камы в рассматриваемом районе позволила зафиксировать в зимний период рост содержания хлоридов при стабильном гидрологическом режиме или даже некотором росте расходов воды. Установлению механизма этого явления, имеющего принципиальное значение для организации устойчивой системы водопользования, посвящена данная работа. При этом необходимо учитывать следующее важное обстоятельство: интенсивность декларируемых, регламентируемых источников, как правило, $q \sim \text{const}$, а латентных, связанных с фильтрационными разгрузками, $- q \sim f(Q)$. Анализ и характер этих зависимостей должен использоваться при оценке интенсивности и механизма формирования латентных источников.

Роль и характер формирования латентного загрязнения наиболее удобно оценивать при минимальных расходах воды, когда его особенности проявляются более существенно. При этом принципиальное значение имеют частота и детальность проведения гидрохимических наблюдений. Для установления механизмов формирования качества воды для таких достаточно сложных объектов, как водохранилища, расположенных в зонах активного техногенеза, использование материалов наблюдений с частотой измерений один раз в месяц, что характерно для сетевых наблюдений для Росгидромета, не корректно [11; 14; 15]. Данной частоты измерений также совершенно недостаточно для обеспечения требуемой устойчивости функционирования современных систем технического водоснабжения [11]. Поэтому для обеспечения требуемой детальности измерений на крупных водозаборах организуется ведомственная система контроля качества забираемой воды со значительной большей частотой измерений $- v \sim 1/\text{сут}$. Материалы таких наблюдений были положены в основу данных исследований.

Материалы и методы

Рассматриваемый в работе район расположен в северной части Пермского края, в зоне переменного подпора Камского водохранилища. На рисунке 1 представлена карта-схема исследуемого участка, отдельно выделены: фоновый гидрологический пост – р. Кама – пгт Тюлькино, три притока в г. Соликамске: р. Усолка, р. Чёрная, р. Поповка; два притока в районе г. Березники: р. Толыч и р. Лёнва; контрольный створ – водозабор АО «БСЗ» и гидрологический пост в г. Березники. Длина исследуемого участка от фонового створа до г. Березники составляет 57,3 км.

При построении расчетных эмпирических зависимостей необходимо в первую очередь использовать непосредственно измеряемые параметры. В рамках регулярных сетевых наблюдений Росгидромета прямые измерения с частотой два раза в сутки в исследуемом районе проводятся за уровнями воды на створах р. Кама – пгт Тюлькино и г. Березники. Соответствующие им значения расходов определяются расчетным путем на основе зависимостей $Q=f(H)$. Оценка содержания химических веществ на данных створах проводится со значительной меньшей частотой $v = \frac{1}{\text{мес}}$.

Гидрология

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



Рис. 1. Карта-схема исследуемого участка от пгт Тюлькино до г. Березники
 Fig 1. Schematic map of the study area from Tyulkiino settlement to Berezniki city

Обработка ранее выполненных наблюдений позволила установить следующую монотонно убывающую зависимость между содержанием в воде основного лимитирующего показателя качества воды для данного водного объекта – содержания ионов хлора и расходом воды (рис. 2).

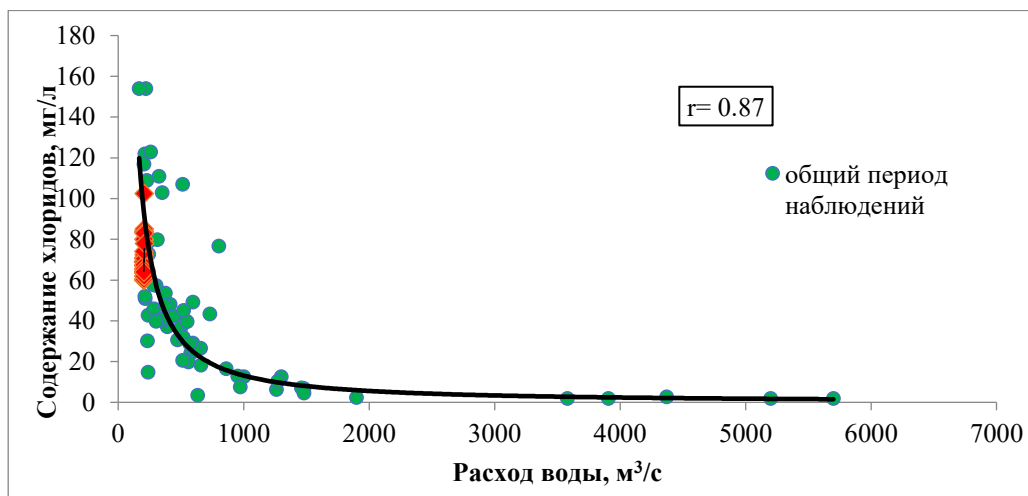


Рис. 2. Зависимость содержания хлоридов от расхода воды на участке у г. Березники
 Fig. 2. Dependence of chloride content on water discharge at the site near Berezniki city

Данное соотношение, построенное при частоте измерений качества воды $\nu \sim \frac{1}{\text{мес}}$ и для всего диапазона изменения расходов воды, отражает простейшее балансовое соотношение между концентрациями хлоридов и расходами воды.

Гидрология

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

Переход на значительно большие частоты измерений показателей качества воды, обусловленные необходимостью повышения надежности функционирования систем технического водоснабжения, позволяет выявить более тонкие аспекты формирования качества воды, наблюдаемые при минимальных зимних расходах воды.

Так, для решения производственных задач ведомственного мониторинга на современных водозаборах, расположенных в зонах активного техногенеза, организуются системы контроля качества забираемой воды с высокой частотой. В данной работе использовались материалы наблюдений на водозаборах АО «БСЗ» и филиала «Азот» АО «ОХК «Уралхим» в г. Березниках.

Результаты и обсуждение

На изучаемом участке в зимний период на пгт Тюлькино наблюдается достаточно стабильный уровень и расход воды, одновременно с этим фиксируется монотонное возрастание содержания хлоридов на водозаборе АО «БСЗ». При этом в силу зимней сработки Камской ГЭС происходит постепенное убывание уровня воды (по данным гидрологического поста г. Березники). В общем случае при стабильном расходе воды и постоянной интенсивности источников загрязнения содержание поллютантов в водотоке не должно возрастать. Однако материалы регулярных наблюдений, представленные на рис. 3–4, не подтверждают данный вывод. Вероятно, на формирование гидрохимического режима р. Камы (Камского водохранилища) в районе г. Березники оказывают существенное влияние фильтрационные разгрузки.

Рассмотрим более детально данный эффект. Содержание (концентрация) консервативных поллютантов в водных объектах определяется соотношением интенсивности процессов привноса поллютантов и их разбавлением. Если интенсивность процессов разбавления в водотоках определяется в первую очередь расходом воды, то их поступление в водный объект будет определяться совокупностью как естественных, так и техногенных факторов. Важнейшим механизмом управления качеством воды водных объектов является декларация и регламентация техногенных источников загрязнения. Регламентация проводится на основе установления для источников загрязнения нормативов допустимых сбросов (НДС). Согласно [19], как правило, устанавливаются нормативы с постоянным разрешенным сбросом, независящим от расхода воды водотока приемника. В то же время неуправляемые источники загрязнения характеризуются, как правило, фильтрационным механизмом.

Согласно традиционной схеме Дарси [20], интенсивность фильтрационной разгрузки должна определяться следующим соотношением:

$$q = C_0 \cdot K \cdot F \cdot \frac{\partial H}{\partial x}, \text{ [кг/с]}, \quad (1)$$

где C_0 – содержание рассматриваемого поллютанта в фильтрующей воде [кг/м^3]; K – коэффициент фильтрации в зоне расположения источников загрязнения [м/сек]; $\frac{\partial H}{\partial x}$ – градиент гидравлического напора между источником фильтрации и уровнем воды в водоеме; F – эффективная площадь фильтрационной разгрузки [м^2].

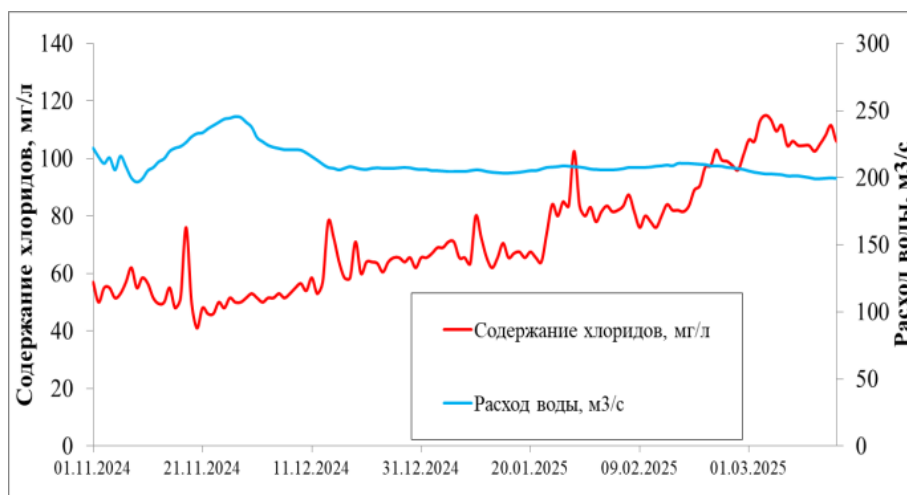


Рис. 3. Динамика содержания хлоридов в водной массе на водозаборе АО «БСЗ» и расходов воды в пгт Тюлькино

Fig. 3. Dynamics of chloride content in water mass at the water intake of AO BSZ (JSC) and dynamics of water discharge in Tyulkiino settlement

Гидрология

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

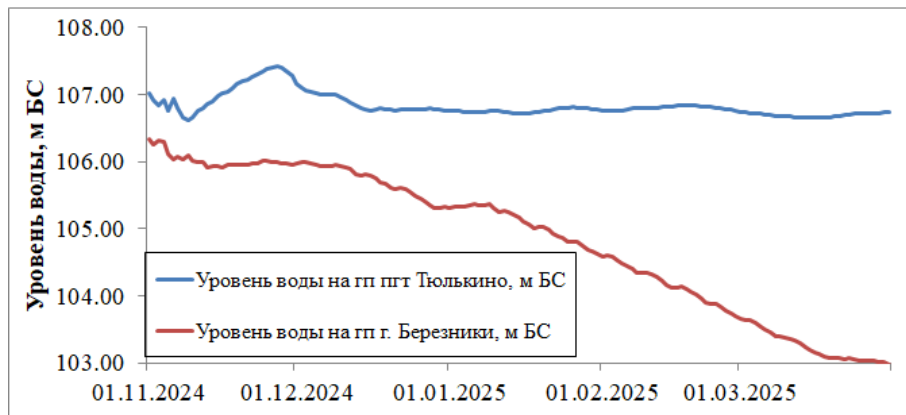


Рис. 4. Хронологический график уровней воды на гп в пгт Тюлькино и г. Березники
 Fig. 4. Chronological graph of water levels at the gauging stations in Tuulkino settlement and Berezniki city

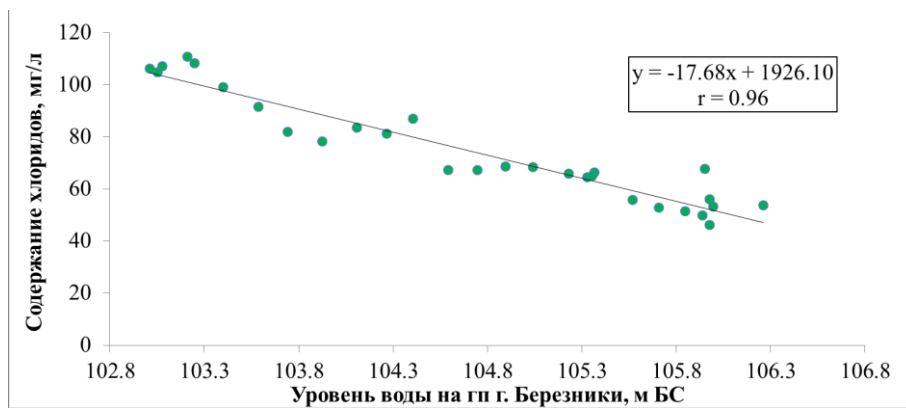


Рис. 5. Зависимость содержания хлоридов в контрольном створе – водозабор БСЗ – от уровня воды
 Fig. 5. Dependence of chloride content in the control site – BSZ water intake – on water level

Наличие компонента $\frac{\partial H}{\partial x}$ обуславливает наличие тесной связи между интенсивность фильтрационной разгрузки и уровнем воды в водотоке приемника.

Дадим оценку этого источника загрязнения. Исходя из элементарных балансовых соотношений в режиме полного перемешивания, имеем

$$C(Q) \approx \frac{C_q \times q + C_\phi \times Q_\phi}{q + Q_\phi} \quad (2)$$

$$\text{При } \frac{q}{Q} \ll 1$$

$$C(Q) \approx C_q \times \left(\frac{q}{Q}\right) + C_\phi(Q), \quad (3)$$

где Q_ϕ – расход воды в фоновом створе водотока приемника; $C(Q)$ – концентрация рассматриваемого загрязнителя в створе полного перемешивания, рассматриваемого как контрольный створ; q – суммарный расход всех водоисточников на участке от фонового до контрольного створа.

C_q – средневзвешенная концентрация рассматриваемого консервативного загрязнителя определяется соотношением:

$$C_q = \frac{\sum_{i=1}^N C_{qi} \times q_i}{\sum_{i=1}^N q_i},$$

где N – общее количество источников загрязнения; C_{qi} – концентрация на i источнике.

Используя соотношение (1), нетрудно записать расчетное соотношение для оценки интенсивности фильтрационной разгрузки применительно к прибрежной зоне водохранилищ:

$$q_{\text{фил}} = F * K * C_0 \frac{(H_{\text{max}} - H_{\text{min}}) - (H_i - H_{\text{min}})}{L}, \quad (4)$$

или, как нетрудно видеть, преобразуя (4), имеем

$$q_{\text{фил}}(H) = q_q * \left(1 - \frac{H_i - H_{\text{min}}}{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}}\right), \quad (5)$$

где H_{max} (110,00 м БС), H_{min} (101,50 м БС) – максимальный и минимальный уровень воды соответственно, наблюдаемые в водохранилище на ближайшем гидрологическом посту (Камское водохранилище – г. Березники), L – характерное расстояние от источника фильтрационных разгрузок до створа наблюдения.

Если уровень воды в источниках фильтрационных разгрузок можно рассматривать как постоянную величину в силу инерционных эффектов, то уровень воды р. Камы (Камском водохранилище) в районе

Гидрология

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

Соликамско-Березниковского промузла определяет как расход воды по р. Каме, так и режим регулирования Камского водохранилища.

Единственными непосредственно измеряемыми параметрами в данном соотношении являются уровень воды, а также содержание хлоридов в контрольном створе – водозаборе АО «БСЗ». Наблюдения за уровнем режимом производят 2 раза в сутки. Для рассматриваемого водохранилища данная частота наблюдений, как было показано в [11–16], недостаточна, поскольку для данного водоема характерна существенная внутрисуточная изменчивость.

Так как на рассматриваемом участке находятся промышленные предприятия, осуществляющие сброс загрязнителей в р. Каму, для более точной оценки доли фильтрационных разгрузок учитывались декларируемые сбросы массы хлорид-ионов. Рассматривались отдельно сбросы предприятий г. Соликамска в целом, для г. Березники учитывался сброс в рр. Лёнва и Толыч.

Таким образом, содержание хлоридов в контрольном створе – водозаборе АО «БСЗ» – определяется как:

$$C_k(Q) = C_\phi(0) + \frac{\sum q_{\text{дек}}}{Q} + q_{\text{лат}}(1 - P), \quad (6)$$

где $P = \left(\frac{H_i - H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}} \right)$.

Из этого соотношения следует, что суммарная интенсивность латентных источников должна определяться как:

$$q_{\text{лат}}(1 - P) = C_k(Q) - C_\phi(0) - \frac{\sum q_{\text{дек}}}{Q}. \quad (7)$$

В качестве примера распределения интенсивности поступления массы хлорид-ионов на участке от пгт Тюлькино до г. Березники выбран период с 06.02.2025 по 09.02.2025 (табл. 1), когда в г. Березниках наблюдался показатель содержания хлоридов в воде, равный 100 мг/л. Имея фоновое значение в пгт Тюлькино, показатель декларируемых сбросов в г. Соликамске и г. Березники и учитывая данные в створе водозабора АО «БСЗ», в результате доля латентных источников для рассматриваемого периода составила 62 % от общей массы загрязнителя, поступившей к створу г. Березники.

Таблица 1

Table 1

Интенсивность поступления массы хлорид-ионов на изучаемом участке на период с 06.02.25 по 09.02.25
The intensity of chloride ion mass input in the study area for the period from 6 February 2025 to 9 February 2025

Расстояние от фонового створа, км	Пункт	q , кг/с	Q , м ³ /с
0	пгт Тюлькино	4,05	203
32	г. Соликамск	3,94	206
54	р. Лёнва	<0,01	208
56	р. Толыч	0,18	208
57	г. Березники	21,28	209

Как видно из рисунка, доля латентных источников очень чувствительна к изменению уровня воды. При сработке водохранилища в зимний период увеличивается напор подземных вод на исследуемом участке, что приводит к увеличению скорости фильтрации, и, соответственно, возрастает доля латентных источников в интенсивности поступления загрязнителя.

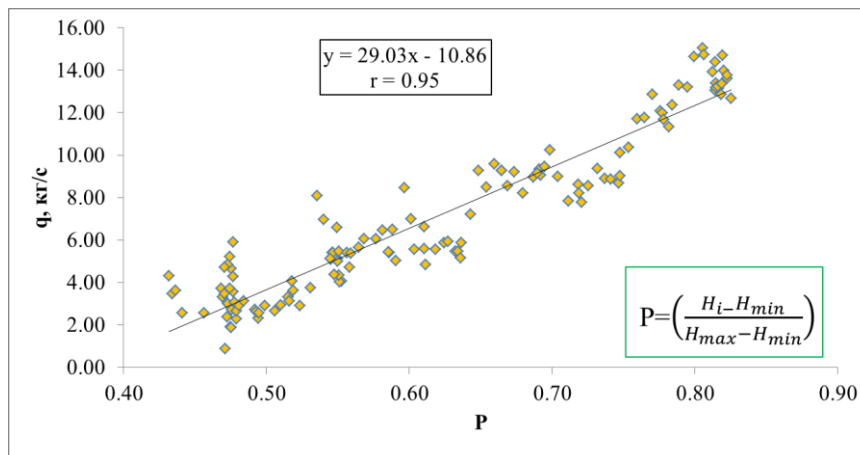


Рис. 6. Зависимость суммарной интенсивности поступления массы хлорид-ионов в виде латентных источников от изменения уровня на акватории г. Березники
Fig. 6. Dependence of the total intensity of chloride ion mass input in the form of latent sources on the level change in the water area of Berezniki city

Гидрология

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

Заключение

Соликамско-Березниковский промышленный комплекс, осваивающий одно из крупнейших в мире месторождений калийных и магниевых солей – ВКМКС, требует для своего устойчивого функционирования не только значительного количества свежей воды нормативного качества, но и оказывает существенное влияние на водные объекты. При этом ситуация заметно усложняется расположением его в зоне переменного подпора Камского водохранилища. Для обеспечения устойчивого водопользования в таких сложных природно-техногенных условиях требуется не только изменение традиционных систем мониторинга, но и более полный учет, а также детальный анализ факторов формирования гидрохимического режима водных объектов. Использование материалов наблюдений с суточной частотой отбора проб воды позволило выявить и оценить интенсивность латентных источников загрязнения хлоридами, обусловленных фильтрационными разгрузками. Вклад этих источников в формирование гидрохимического режима р. Камы (Камского водохранилища) наиболее заметен в зимний период, при этом он постепенно возрастает по мере сработки Камского водохранилища, достигая ~ 70 % к концу марта. Установленная статистическая значимая связь между содержанием хлоридов в водах р. Камы и ее уровнем в районе г. Березники имеет принципиально важное значение как для регламентации, так и для планирования водоохраных мероприятий в районе г. Березники. Это явление объясняется увеличивающимся гидравлическим напором и, соответственно, скоростью фильтрации на исследуемом участке. Проводить подобного рода оценки невозможно на основе данных анализа проб воды, отбираемых с частотой 1/месяц, как это делается на постах сети Росгидромета.

Библиографический список

1. Бурматова Э. А. История гидрохимического изучения Средней Камы (1881–1953 гг.) и Камского водохранилища (1954–1966 гг.) // Гидрология и метеорология. 1969. Вып. 4. С. 79–90.
2. Данилов-Данильян В. И., Полянин В. О., Фацевская Т. Б., Кирпичникова Н. В., Козлова М. А., Веницианова Е. В. Проблема снижения диффузного загрязнения водных объектов и повышение эффективности водоохраных программ // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 5. С. 503–514. DOI: 10.31857/S0321059620050053 EDN: LTEFWL
3. Двинских С. А., Китаев А. Б. Особенности формирования химического состава поверхностных вод гумидной зоны (на примере Пермского края) // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2011. № 2. С. 31.
4. Девяткова Т. П. Влияние некоторых гидродинамических факторов на минерализацию воды Камского водохранилища и на содержание в ней главных ионов // Гидрохимические материалы. 1984. Т. 87. С. 37–45.
5. Девяткова Т. П. Основные показатели динамики вод Камских водохранилищ – факторы формирования их гидрохимического режима // Урал: география и развитие: тезисы докладов совещания по проблемам географии. Пермь, 1989. С. 187–188.
6. Зиновьев Е. А., Двинских С. А., Китаев А. Б. Характеристика современного состояния водной экосистемы верхней части Камского водохранилища // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2018. Т. 28, № 1. С. 50–63. EDN: YVSMVL
7. Китаев А. Б. Оценка химического состава воды верхней части Камского водохранилища в связи с обустройством поисково-разведочных скважин // Географический вестник = Geographical Bulletin. 2012. № 1(20). С. 55–60. EDN: PACFXT
8. Китаев А. Б. Гидрологическая обусловленность формирования гидрохимического режима камских водохранилищ // Современное состояние качества воды камских водохранилищ и мероприятия по предотвращению их загрязнения: материалы совещания. Пермь, 1989. С. 3–4.
9. Куликов Г. И. Влияние сброса химической промышленности на минерализацию воды Камского водохранилища в районе г. Березники // Материалы Всесоюзного совещания по вопросам эксплуатации Камского водохранилища. 1959. Вып. 2. С. 1–13.
10. 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 Соликамско-Березниковского промузла // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 5. С. 560–566. DOI: 10.31857/S0321059620050120 EDN: SKMMDS
11. 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 EDN: BDWHJF
12. Лепихин А. П., Богомолов А. В., Ляхин Ю. С. К особенностям формирования качества воды р. Камы (Камского водохранилища) в зимний период в районе г. Березники // Горное эхо. 2022. № 1. С. 13–25. DOI: 10.7242/echo.2022.1.3 EDN: KJKBQI
13. 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 EDN: KMXDWF
14. 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 = Geographical Bulletin. 2024. № 3(70). С. 70–82. DOI: 10.17072/2079-7877-2024-3-70-82 EDN: CSFJAC
15. 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 // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2024. Т. 60, № 4. С. 533–544. DOI: 10.31857/S0002351524040094 EDN: JGXDAG
16. 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 EDN: WXPVFX
17. Матарзин Ю. М. К гидрохимической характеристике Камского водохранилища // Материалы Всесоюз. совещания по эксплуатации Камского водохранилища. 1959. Вып. 2. С. 1–10.
18. Матарзин Ю. М. Гидрохимические аспекты формирования гидрохимического режима искусственных водоемов // Современные проблемы региональной и прикладной гидрохимии. Л., 1987. С. 62–70.

Гидрология

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

19. Методика разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей: утв. Приказом Минприроды России от 29.12.2020 № 1118 // Официальный интернет-портал правовой информации : сайт. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202012310042> (дата обращения: 15.01.2025)
20. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Наука, 1977. 664 с.
21. Полянин В. О., Кирпичникова Н. В., Фацевская Т. Б. Факторы негативного воздействия и общие рекомендации по снижению поступления загрязняющих веществ от диффузных источников // ДИФФУЗНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ: колл. моногр. / под ред. В. И. Данилова-Данильяна. М.: Изд-во Российской академии наук, 2020. С. 381–398. EDN: HESPHE
22. Lyubimova T., Lepikhin A., Parshakova Y., Zayakina I., Issakhov A. Formation of Water Quality of Surface Water Bodies Used in the Material Processing // Fluid Dynamics & Materials Processing. 2024. Vol. 20, No. 4. P. 815–828. DOI: 10.32604/fdmp.2024.048463 EDN: TQGQJJ

References

1. Burmamtova E. A. Istoriya gidrokhimicheskogo izucheniya Sredney Kamy (1881–1953 gg.) I Kamskogo vodokhranilishcha (1954–1966 gg.) [History of hydrochemical study of the Middle Kama (1881–1953) and the Kama Reservoir (1954–1966)]. *Gidrologiya I meteorologiya*, 1969, iss. 4, pp. 79–90. (In Russ.)
2. Danilov-Danilyan V. I., Polyaniin V. O., Fashchevskaya T. B., Kirpichnikova N. V., Kozlova M. A., Venitsianov E. V. The Problem of Reducing Diffuse Pollution of Water Bodies and Improving the Efficiency of Water Protection Programs. *Water Resources*, 2020, vol. 47, no. 5, pp. 503–514. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0321059620050053
3. Dvinskikh S. A., Kitaev A. B. Osobennosti formirovaniya khimicheskogo sostava poverkhnostnykh vod gumidnoy zony (na primere Permskogo kraya) [Features of the chemical composition formation of surface waters in the humid zone (on the example of the Perm region)]. *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra UrO RAN*, 2011, no. 2, pp. 31–31. (In Russ.)
4. Devyatkova T. P. Vliyaniye nekotorykh gidrodinamicheskikh faktorov na mineralizatsiyu vody Kamskogo vodokhranilishcha I na sodержание v ney glavnykh ionov [The influence of some hydrodynamic factors on the mineralization of the Kama Reservoir water and on the content of the main ions in it]. *Gidrokhimicheskaya materialy*, 1984, vol. 87, pp. 37–45. (In Russ.)
5. Devyatkova T. P. Osnovnye pokazateli dinamiki vod Kamskikh vodokhranilishch – faktory formirovaniya ikh gidrokhimicheskogo rezhima [The main indicators of the dynamics of the Kama reservoirs waters – factors of formation of their hydrochemical regime]. In *Ural: geografiya I razvitiye: tezisy dokladov soveshchaniya po problemam geografii*. Perm, 1989, pp. 187–188. (In Russ.)
6. Zinoviev E. A., Dvinskikh S. A., Kitaev A. B. Kharakteristika sovremennogo sostoyaniya vodnoy ekosistemy verkhney chasti Kamskogo vodokhranilishcha [Characteristics of the current state of the aquatic ecosystem of the upper part of the Kama reservoir]. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 2018, vol. 28, no. 1, pp. 50–63. (In Russ.)
7. Kitaev A. B. Otsenka khimicheskogo sostava vody verkhney chasti Kamskogo vodokhranilishcha v svyazi s obustroystvom poiskovo-razvedochnykh skvazhin [Assessment of the chemical composition of the water in the upper part of the Kama reservoir in connection with the development of exploration wells]. *Geographical Bulletin*, 2012, no. 1(20), pp. 55–60. (In Russ.)
8. Kitaev A. B. Gidrologicheskaya obuslovlennost' formirovaniya gidrokhimicheskogo rezhima kamskikh vodokhranilishch [Hydrological conditionality of the hydrochemical regime formation of the Kama reservoirs]. In *Sovremennoe sostoyanie kachestva vody kamskikh vodokhranilishch I meropriyatiya po predotvrashcheniyu ikh zagryazneniya: materialy soveshchaniya*. Perm, 1989, pp. 3–4. (In Russ.)
9. Kulikov G. I. Vliyaniye sbrosa khimicheskoy promyshlennosti na mineralizatsiyu vody Kamskogo vodokhranilishcha v rayone g. Berezniki [The influence of the chemical industry discharge on the mineralization of the Kama Reservoir water in the area of Berezniki city]. In *Materialy Vsesoyuznogo soveshchaniya po voprosam ekspluatatsii Kamskogo vodokhranilishcha*. Perm, 1959, Iss. 2, pp. 1–13. (In Russ.)
10. Lepikhin A. P., Voznyak A. A., Lyubimova T. P., Parshakova Y. N., Lyakhin Y. S., Bogomolov A. V. Studying the Patterns of Formation and the Extent of Diffuse Pollution Produced by Large Industrial Centers: A Case Study of the Solikamsk-Berezniki Industrial Hub. *Water Resources*, 2020, vol. 47, no. 5, pp. 560–566. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0321059620050120
11. Lepikhin A. P., Venitsianov E. V., Lyubimova T. P., Tiunov A. A., Parshakova Ya. N., Lyakhin Yu. S., Bogomolov A. V. Effects of the vertical heterogeneity of water masses on the stability of industrial water supply in industry-intensive areas. *Transactions of the Karelian Research Centre of the RAS*, 2021, no. 4, pp. 53–63. (In Russ.) DOI: 10.17076/lim1419
12. Lepikhin A. P., Bogomolov A. V., Lyakhin Yu. S. Towards the Specifics of the Water Quality Formation in the Kama River (Kama Reservoir) during the Winter Period in the Area of Berezniki City. *Gornoe Ekho*, 2022, no. 1, pp. 13–25. (In Russ.) DOI: 10.7242/echo.2022.1.3
13. Lepikhin A. P., Bogomolov A. V., Lyakhin Y. S., Oputin M. A., Sintsova T. N., Isakhov A. A. The Experience of Using Loggers to Study the State Dynamics of Water Bodies Located in Zones of Active Technogenesis. *Water Management of Russia: Problems, Technologies, Management*, 2024, no. 6, pp. 81–94. (In Russ.) DOI: 10.35567/19994508-2024-6-81-94
14. Lepikhin A. P., Lyubimova T. P., Bogomolov A. V., Oputin M. A., Sintsova T. N. Features of intraday fluctuations in water quality indicators observed in the Kama Reservoir. *Geographical Bulletin*, 2024, no. 3(70), pp. 70–82. (In Russ.) DOI: 10.17072/2079-7877-2024-3-70-82
15. Lepikhin A. P., Lyubimova T. P., Bogomolov A. V., Lyakhin Yu. S., Parshakova Ya. N. Density Effects Caused by Heterogeneity in the Distribution of Mineralization of Waters of Various Genesis in Plain Reservoirs. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2024, vol. 60, no. 4, pp. 533–544. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0002351524040094
16. Lyubimova T. P., Lepikhin A. P., Parshakova Ya. N., Bogomolov A. V., Lyakhin Yu. S., Isakhov A. Peculiarities of hydrodynamics of water reservoirs characterized by the vertical density inhomogeneity of water masses under active technogenesis conditions. *Computational Continuum Mechanics*, 2023, vol. 16, no. 1, pp. 115–124. (In Russ.) DOI: 10.7242/1999-6691/2023.16.1.9
17. Matarzin Yu. M. K gidrokhimicheskoy kharakteristike Kamskogo vodokhranilishcha [On the hydrochemical characteristics of the Kama Reservoir]. In *Materialy Vsesoyuznogo soveshchaniya po ekspluatatsii Kamskogo vodokhranilishcha*. Perm, 1959, Issue 2, pp. 1–10. (In Russ.)
18. Matarzin Yu. M. Gidrokhimicheskii aspekty formirovaniya gidrokhimicheskogo rezhima iskusstvennykh vodoemov [Hydrochemical aspects of the formation of the hydrochemical regime of artificial reservoirs]. In *Sovremennye 84-ndex84 regional'noy I prikladnoy gidrokhimii*. Leningrad, 1987, pp. 62–70. (In Russ.)
19. Metodika razrabotki normativov dopustimykh sbrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v vodnye ob'ekty dlya vodopol'zovateley [Methods for developing standards for permissible discharges of pollutants into water bodies for water users]. Official Internet portal of legal information: website] (In Russ.) URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202012310042> (Accessed 15 January 2025).

Гидрология

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

20. Polubarinova-Kochina P.Ya. *Teoriya dvizheniya gruntovykh vod* [Theory of groundwater movement]. Moscow: Nauka, 1977. 664 p. (In Russ.)

21. Polyani V.O., Kirpichnikova N.V., Fashchevskaya T.B. Faktory negativnogo vozdeystviya I obshchie rekomendatsii po snizheniyu postupleniya zagryaznyayushchikh veshchestv ot diffuznykh istochnikov [Factors of negative impact and general recommendations for reducing the supply of pollutants from diffuse sources]. In *Diffuznoe zagryaznenie vodnykh ob'ektov: 85andex85 I resheniya*. Moscow: Izd-vo Rossiiskaya akademiya nauk, 2020, pp. 381–398. (In Russ.)

22. Lyubimova T., Lepikhin A., Parshakova Y., Zayakina I., Issakhov A. Formation of Water Quality of Surface Water Bodies Used in the Material Processing. *Fluid Dynamics & Materials Processing*, 2024, vol. 20, no. 4, pp. 815–828. DOI: 10.32604/fdmp.2024.048463

Статья поступила в редакцию: 02.06.25, одобрена после рецензирования: 22.12.25, принята к опубликованию: 12.03.26.

The article was submitted: 2 June 2025; approved after review: 22 December 2025; accepted for publication: 12 March 2026.

Информация об авторах

Анатолий Павлович Лепихин

Доктор географических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
Российский научно-исследовательский институт
комплексного использования и охраны водных
ресурсов, Камский филиал,
614002, Россия, г. Пермь, ул. Н. Островского, 113;
заведующий лабораторией проблем гидрологии суши,
Горный институт Уральского отделения
Российской академии наук;
614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А

e-mail: lepihin49@mail.ru

Андрей Владимирович Богомолов

Кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории проблем гидрологии суши,
Горный институт Уральского отделения
Российской академии наук;
614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А

email: whitewing85@mail.ru

Максим Андреевич Опутин

Инженер лаборатории проблем гидрологии суши,
Горный институт Уральского отделения
Российской академии наук;
614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А

e-mail: maksimoputka@yandex.ru

Татьяна Николаевна Синцова

Ведущий инженер
лаборатории проблем гидрологии суши,
Горный институт Уральского отделения
Российской академии наук;
614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А

e-mail: tanya_sinzova@mail.ru

Information about the authors

Anatoly P. Lepikhin

Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Senior Researcher, Russian Research Institute for the
Integrated Use and Protection of Water Resources
(Kama Branch);
113, Nikolaya Ostrovskogo st., Perm, 614002, Russia;
Head of the Laboratory of Land Hydrology Problems,
Mining Institute of the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences;
78a, Sibirskaya st., Perm, 614007, Russia

Andrei V. Bogomolov

Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher,
Laboratory of Land Hydrology Problems,
Mining Institute of the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences;
78a, Sibirskaya st., Perm, 614007, Russia

Maksim A. Oputin

Engineer, Laboratory of Land Hydrology Problems,
Mining Institute of the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences;
78a, Sibirskaya st., Perm, 614007, Russia

Tatyana N. Sintsova

Leading Engineer, Laboratory of Land Hydrology
Problems, Mining Institute of the Ural Branch of the
Russian Academy of Sciences;
78a, Sibirskaya st., Perm, 614007, Russia

Вклад авторов

Лепихин А. П. – идея исследования, участие в обработке и анализ полевых данных, написание статьи, редактирование статьи.

Богомолов А. В. – обработка и анализ полевых данных, написание статьи, редактирование статьи.

Опутин М. А. – обработка и анализ полевых данных, написание статьи, редактирование статьи.

Синцова Т. Н. – обработка и анализ полевых данных, написание статьи, редактирование статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Anatoly P. Lepikhin – the idea of the study; processing and analysis of field data; writing and editing of the article.

Andrei V. Bogomolov – processing and analysis of field data; writing and editing of the article.

Maksim A. Oputin – processing and analysis of field data; writing and editing of the article.

Tatyana N. Sintsova – processing and analysis of field data; writing and editing of the article

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.