

## ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАЧЕСТВА ВОДЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЛЕНЫ

Джамалов Р. Г., Решетняк О. С., Власов К. Г., Галагур К. Г., Оботуров А. С., Сафронова Т. И.

## SPECIFIC FEATURES OF WATER CHEMISTRY AND QUALITY IN THE LENA RIVER BASIN

Dzhamalov R. G., Reshetnyak O. S., Vlasov K. G., Galagur K. G., Oboturov A. S., Safronova T. I.

### Аннотация

**Введение.** Река Лена — одна из самых крупных рек России и главная транспортная артерия Якутии. **Методы.** Водный режим р. Лены рассматривался за 1981–2019 гг. на уровне среднемесячных расходов воды. Количественная оценка гидрохимического стока проведена на основе широко применяемого ландшафтно-гидрологического метода. Такой анализ позволил оценить связь между качеством природных вод и экологическим состоянием водосборов.

**Результаты.** Установлено, что повышение зимней температуры привело к уменьшению глубины промерзания почвы и увеличению ее дренирующих свойств, росту количества и продолжительности зимних оттепелей. Наиболее заметный рост годовых расходов воды произошел в восточной части бассейна р. Лены, в бассейне р. Алдан. Оценка современного состояния качества поверхностных вод проведена по основным гидрохимическим показателям: минерализация воды, главные ионы — сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ ); биогенные вещества — азот нитритный ( $\text{NO}_2^-$ ); органические вещества по показателям БПК<sub>5</sub> и ХПК; нефтепродукты; фенолы, соединения железа (Fe) и меди (Cu). Качество воды соответствует 3-му классу качества и на различных участках речного бассейна вода характеризуется как «загрязненная» или «очень загрязненная», при этом наиболее напряженная ситуация отмечается в р. Олекма. **Заключение.** Представлены результаты анализа пространственно-временной изменчивости содержания наиболее информативных гидрохимических компонентов за два периода (2001–2009 и 2010–2019 гг.) в бассейне р. Лены в соответствии с существующими наиболее жесткими нормативами для водоёмов рыбохозяйственного использования. Построены графики и карты временной динамики основных загрязняющих веществ.

**Ключевые слова:** речные воды, гидрохимический сток, антропогенное воздействие, качество воды, химические вещества, загрязняющие вещества.

### Abstract

**Introduction.** The Lena River is one of the largest rivers in Russia and the main transport artery of Yakutia. **Methods.** In the course of the study, we considered the water regime of the Lena River in 1981–2019 in relation to the monthly average water discharge. The hydrochemical runoff was quantitatively assessed based on the widely used landscape-hydrological method. The analysis made it possible to estimate the relationship between the natural water quality and the environmental state of catchments. **Results.** An increase in the winter temperature reduced the depth of soil freezing and increased the drainage properties of soil as well as the number and duration of winter thaws. The most pronounced annual water discharge was observed in the Aldan River basin in the eastern part of the Lena River basin. The current state of the surface water quality was assessed by the main hydrochemical characteristics: water salinity, principal ions (sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )), nutrients (nitrite nitrogen ( $\text{NO}_2^-$ )), organic matter (BOD<sub>5</sub> and COD), oil products, phenols, and iron (Fe) and copper (Cu) compounds. The water has quality class 3 and is characterized as “polluted” or “very polluted” in different zones of the river basin, with the situation being most acute in the Olekma River. **Conclusions.** We present the results of an analysis of the spatial and temporal variations in the content of the most informative hydrochemical components for two periods (2001–2009 and 2010–2019) in the Lena River basin in accordance with the most stringent commercial fishing standards in force. We also plotted and mapped the temporal variations in the main pollutants. Graphs and maps of the time dynamics of the main pollutants are constructed.

**Keywords:** river water, hydrochemical runoff, anthropogenic impact, water quality, chemicals, pollutants.

### Введение

Река Лена — одна из самых крупных рек России, ее длина составляет 4400 км, площадь всего бассейна 2490 тыс. км<sup>2</sup>. Исток реки — западный

склон Байкальского хребта в 7 км от оз. Байкал. Густота речной сети большая — в среднем около 0,5 км/км<sup>2</sup>. Наиболее крупными притоками являются реки Витим, Олекма, Алдан и Вилюй.

Бассейн реки отличается своеобразным сочетанием природных факторов, располагается в регионе с самыми суровыми климатическими условиями в стране. Территория многолетней мерзлоты оказывает влияние на гидрологию рек. Для реки Лены характерны смешанное питание (дождевое, снеговое), весеннее половодье и низкая осенне-зимняя межень.

Река собирает с огромной площади водосбора растворенные вещества и взвешенные частицы и транспортирует их вниз по течению в устье реки. Возможный дополнительный сброс химических веществ из антропогенных источников или вынос элементов из ландшафтов увеличивает антропогенную нагрузку на экосистемы реки и ее притоков, что может стать причиной не только ухудшения качества воды, но и нарушения экологического состояния элементов речных систем и снижения их устойчивости в современных условиях антропогенного воздействия и изменения климата. Цель исследования состоит в изучении изменчивости состава и качества воды, оценке химического стока в бассейне реки Лены, что имеет важное прикладное значение с экологической точки зрения не только для оценки водно-экологической ситуации на водосборе, но и для прогноза возможного выноса загрязняющих веществ в прибрежные акватории арктических морей.

#### Методы и материалы

В статье проведен анализ по основным гидрохимическим показателям: минерализация воды, сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), азот нитритный ( $\text{NO}_2^-$ ), БПК<sub>5</sub> и ХПК, нефтепродукты, фенолы, соединения железа (Fe) и меди (Cu). Водный режим р. Лены рассматривался за 1981–2019 гг. на уровне среднемесячных расходов воды.

Оценка современного состояния качества поверхностных вод бассейна р. Лены проведена по среднегодовым значениям показателей качества воды в период 2001–2019 гг. (по некоторым показателям даны более длинные периоды) в соответствии с существующими наиболее жесткими нормативами для водоемов рыбохозяйственного использования.

Гидрохимическими наблюдениями в бассейне реки Лены охвачены 32 водных объекта, и контроль качества воды осуществляется на 55 пунктах наблюдений (в 72 створах) [1, 11].

Количественная оценка гидрохимического стока на основе широко применяемого ландшафтно-гидрологического метода использована для антропогенной нагрузки. Такой анализ позволил оценить связь между качеством природных вод и экологическим состоянием водосборов.

С помощью РД 52.24.643–2002<sup>1</sup> проведена оценка загрязненности воды по широкому перечню ингредиентов и показателей качества воды с учетом классификации воды по степени загрязненности.

#### Результаты исследования и обсуждение

Экологическое состояние рек бассейна р. Лены формируется под влиянием многих внешних и внутренних факторов, в основном за счет уникальных природных условий региона. Климат бассейна реки резко континентальный, присутствует многолетнемерзлая толща, выступающая в роли водоупора. Еще одним фактором формирования гидрохимического режима является интенсивная хозяйственная деятельность на водосборе. При сбросе загрязняющих веществ с прилегающих территорий поверхностные воды рек бассейна р. Лены испытывают влияние предприятий по добыче полезных ископаемых, сельского и коммунального хозяйства. Практически весь объем сточных вод поступает в водную среду без предварительной очистки из-за неудовлетворительного технического состояния оборудования для очистки воды. Помимо этого, наблюдаются загрязнения реки в среднем и нижнем течении из-за захоронения пестицидов, а также гидрологические и термоэрозийные процессы, связанные с географическим расположением бассейна реки. В работе [9] отмечается, что экологический риск для природных экосистем в среднем и нижнем течении реки представляют «захоронения пестицидов, оставшиеся со времен совхозов, а также гидрологические и термоэрозийные процессы, которые проявляются в изменении русла, образовании и размыве новых островов и наносов, разрушении и отступании берегов реки Лены».

**Водный режим р. Лены.** Основными факторами, определяющими перераспределение величины стока внутри года на реках со снеговым

<sup>1</sup> РД 52.24.643–2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям; введ. 2002-12-03. СПб.: Гидрометеоздат, 2003. 49 с.

питанием, к которым относится большая часть рек азиатской части России (АЗР), являются рост температуры воздуха и строительство водохранилищ [3, 5]. Еще одна особенность этого региона — приуроченность территории к зоне мерзлоты (сплошной, прерывистой, островной), что влияет на гидрологический режим рек, а также на их связь с подземными водами [8, 14].

Как уже отмечалось, «суровый климат и многолетняя мерзлота определяют своеобразие режима природных вод Восточной Сибири. Несмотря на небольшое количество атмосферных осадков, полную непроницаемость мерзлых грунтов, малые потери на фильтрацию и испарение, поверхностный сток здесь сравнительно высок. Из-за многолетней мерзлоты реки не получают достаточного питания грунтовыми водами, поэтому здесь повсеместно распространены перемерзания рек и образования наледей. В этих условиях своеобразно развиваются и эрозионные процессы. Скованные мерзлотой грунты трудно поддаются размыву, следовательно, глубинная эрозия развивается слабо, а преобладает боковая, приводящая к расширению долин» [4].

Так, по данным Джамалова Р. Г. и других [4, 6, 7] установлено, что повышение зимней температуры привело к уменьшению глубины промерзания почвы и увеличению ее дренирующих свойств, росту количества и продолжительности зимних оттепелей, во время которых происходят снеготаяние и водоотдача из снежного покрова,

пополнение запасов грунтовых вод и формирование поверхностного стока.

Средняя плотность постов в бассейне р. Лены составила порядка одного на 100 тыс. км<sup>2</sup>. Наиболее заметный рост годовых расходов воды произошел в восточной части бассейна р. Лены, в бассейне р. Алдан. В замыкающем створе на р. Алдан величина тренда составила 5,8 % / 10 лет при  $p\text{-val} = 5,1\%$  (рис. 1). Максимальные величины роста (10 % / 10 лет) установлены на северо-востоке бассейна р. Алдан — реки Мая, Аллах-Юнь и Амга.

По всем замыкающим створам реки Лены и ее притоков наблюдался рост годового, межennaleго и минимального стока.

**Химический состав речных вод в бассейне р. Лены.** Выявление закономерностей изменения объемов речного и химического стоков за продолжительные периоды играет важную роль при оценке тенденций качества воды и экологического состояния рек бассейна р. Лены.

**Минерализация.** Реки бассейна Лены обладают в основном малой минерализацией (до 200–300 мг/дм<sup>3</sup>), и только в верховьях Лены (до г. Олекминска) и Амги минерализация достигает 500 мг/дм<sup>3</sup>. По содержанию **сульфатов** большинство рек не превышает ПДК (до 50–60 мг/дм<sup>3</sup>). На общем фоне сильно выделяются река Нюя и дельта Лены (200 и более мг/дм<sup>3</sup>). Содержание **хлоридов** в поверхностных водах рек бассейна Лены не превышает 90 мг/дм<sup>3</sup>, за исключением реки Нюи (150 мг/дм<sup>3</sup>).

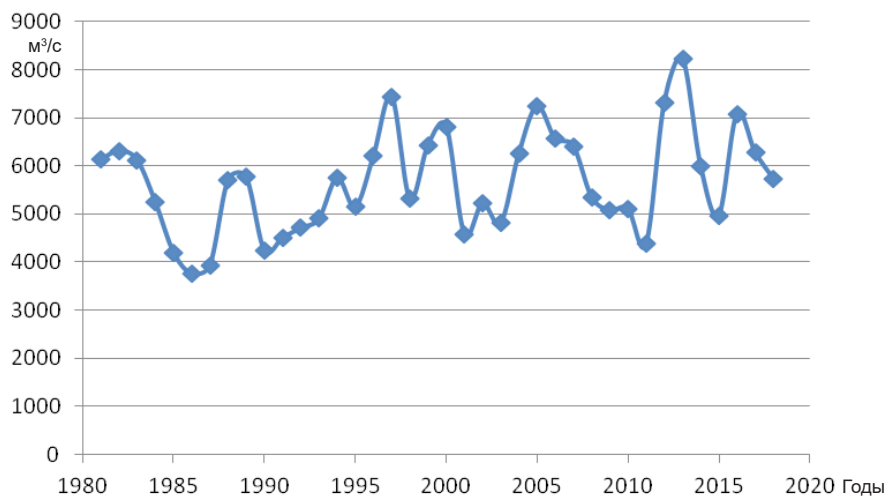


Рис. 1. Среднегодовые расходы воды на р. Алдан — гидропост Верхоянский Перевоз

**Соединения железа.** Содержание железа в реке Лене увеличивается вниз по течению, что характерно для рек, расположенных в зоне вечной мерзлоты [12, 13]. Сравнение двух анализируемых периодов позволило выявить, что за период с 2010 по 2019 гг. содержание железа в реках бассейна Лены в среднем осталось на прежнем уровне (до  $0,3 \text{ мг/дм}^3$ ), хотя в отдельных частях бассейна наблюдаются изменения (рис. 2, а, 3). Улучшение качества воды отмечается в реке Алдан до г. Усть-Май и в р. Лене от г. Олекминска до г. Якутска. Ухудшение ситуации прослеживается в р. Вилюй от г. Чернышевского до г. Сюльдюкара, а также в дельте р. Лены.

Также по среднемноголетним данным наиболее высокие значения соединений железа обнаружены в реках Кэнкэмэ ( $0,46 \text{ мг/дм}^3$ ), Шестаковка ( $0,45 \text{ мг/дм}^3$ ), Малый Беркакит ( $0,4 \text{ мг/дм}^3$ ), Тангары ( $0,27 \text{ мг/дм}^3$ ).

Модуль гидрохимического стока большинства рек бассейна Лены составляет до  $100 \text{ кг/год}$  с одного кв. км. В 2001–2009 гг. наиболее загрязненными были реки Чульман, Чара и Лена от г. Олекминска до г. Якутска ( $0,2\text{--}0,3 \text{ т/год}$  с  $\text{км}^2$ ), а в 2010–2019 гг. — река Чульман и верховья р. Витим (рис. 4). Анализируя распределение соединений железа за два исследуемых периода, можно отметить незначительную пространственную и временную изменчивость.

**Соединения меди.** Концентрации меди в водах Лены варьируют от 1 до  $4 \text{ мкг/дм}^3$ : наименьшие значения (менее  $1 \text{ мкг/дм}^3$ ) — от р. п. Качуг до Усть-Кута, наибольшие ( $3\text{--}4 \text{ мкг/дм}^3$ ) — в дельте Лены. Также повышенные среднемноголетние значения меди отмечаются в водах притоков: Вилюй ( $6 \text{ мкг/дм}^3$ ), Кэнкэмэ ( $5 \text{ мкг/дм}^3$ ) и на некоторых участках Лены (г. Олекминск; г. Покровск; р. п. Кангалассы —  $4 \text{ мкг/дм}^3$ ). В большинстве случаев повышенное содержание меди в речных

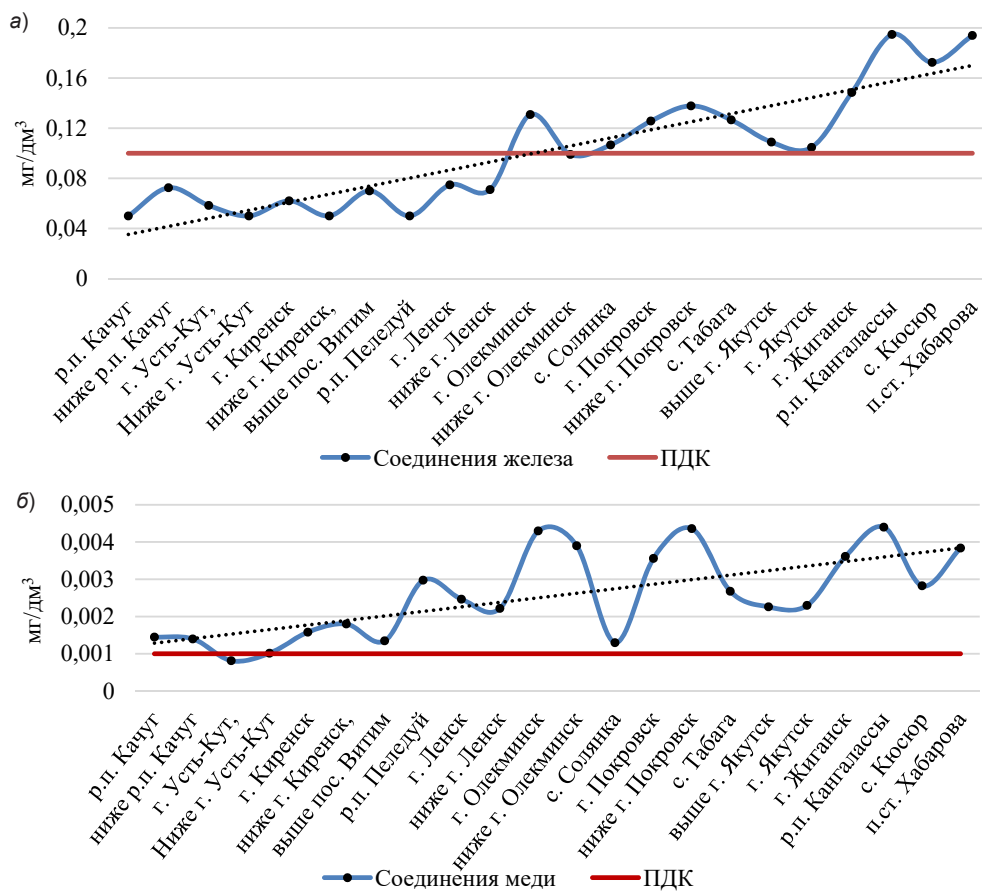


Рис. 2. Среднемноголетнее содержание соединений металлов по длине р. Лены (2004–2019 гг.): а — железа; б — меди

водах бассейна (превышающее допустимые нормативы качества вод) обусловлено природными факторами — выщелачиванием из горных пород минералов меди (рис. 2, б).

**Легкоокисляемые органические вещества (по БПК<sub>5</sub>)** являются характерными загрязняющими веществами воды р. Лены. Концентрации органических веществ по БПК<sub>5</sub> в водах бассейна Лены варьируют от 1,0 до 3,3 мг/дм<sup>3</sup>, причем в самой реке диапазон концентраций составляет от 1,0 до 2,3 мг/дм<sup>3</sup>. Наибольшее содержание легкоокисляемых органических веществ с 2001 по 2009 гг. отмечалось на участке реки Лены ниже г. Якутска, а также в значительной части бассейна р. Вилюй (2,1–3,0 мг/дм<sup>3</sup>). За период с 2010 по 2019 гг. максимальные концентрации были отмечены в бассейне р. Марха и в р. Алдан от г. Томот до пос. Усть-Мая (3,0 мг/дм<sup>3</sup>). Концентрации менее 1,0 мг/дм<sup>3</sup> характерны для участка от г. Витима до г. Ленска. По-видимому, это можно объяснить в первую очередь влиянием крупного на данном участке притока р. Лены — р. Витим, который характеризуется самыми низкими значениями данных компонентов.

**Трудноокисляемые органические вещества (по ХПК).** Среднегодовые концентрации органических веществ в водах бассейна Лены варьируют от 7,5 до 68,5 мг/л. Наиболее высокие значения концентраций по ХПК присущи рекам Кэнкэмэ (68,0 мг/дм<sup>3</sup>), Шестаковка (67,0 мг/дм<sup>3</sup>), Оччугуй-Ботубуйа (47,4 мг/дм<sup>3</sup>), Улахан-Ботубуйа (46,0 мг/дм<sup>3</sup>), Вилюй (36,0–44,0 мг/дм<sup>3</sup>). Для р. Лены концентрации органических веществ находятся в пределах от 16,0 до 35,0 мг/л, причем наибольшие значения отмечаются в верх-

нем и среднем течении реки у городов Киренск и Покровск, а наименьшие — в нижнем течении у с. Кюсюр (рис. 5). В большинстве случаев содержание органических веществ по ХПК в водах рек бассейна Лены не соответствует установленным рыбохозяйственным нормам (15,0 мг/дм<sup>3</sup>) (рис. 6, а, б).

**Фенолы.** Концентрации фенолов в водах рек бассейна Лены варьируют от ниже предела обнаружения до 11 мкг/дм<sup>3</sup>. Высокие концентрации фенолов характерны для рек Кэнкэмэ (11 мкг/дм<sup>3</sup>), Шестаковка (9 мкг/дм<sup>3</sup>) и Вилюй (6 мкг/дм<sup>3</sup>). Для вод р. Лены значения концентраций фенолов изменяются от 1 до 5 мкг/дм<sup>3</sup> (рис. 7–9). Повышенному содержанию фенолов способствует антропогенное влияние на водные объекты, а также расположение реки в лесотундровой зоне.

По данным Института прикладной экологии Севера [10], при строительстве Вилюйской ГЭС ложе водохранилища не было подготовлено, затоплению подверглись 145,5 тыс. га леса и кустарников, 2,3 тыс. га сельскохозяйственных угодий, 6,0 тыс. га болот и 42,2 тыс. га прочих земель. Все это обусловило высокое загрязнение вод фенолами.

**Нефтепродукты.** Анализ содержания нефтепродуктов за два исследуемых периода в воде р. Лены показал, что наименьшие концентрации отмечались на реках Марха, Амга и Олекма (до 0,02 мг/дм<sup>3</sup>). Наиболее загрязненные участки за период 2001–2009 гг. наблюдались в среднем течении реки вблизи г. Олекминска (более 0,08 мг/дм<sup>3</sup>), а за 2010–2019 гг. — в р. Витим (рис. 10).

Модуль гидрохимического стока на значительной части бассейна не превышает 50,0 кг/год

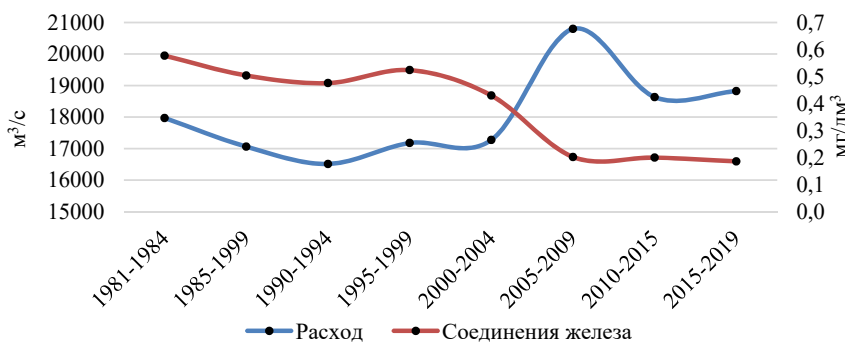


Рис. 3. Динамика содержания расходов воды (м³/с) и соединений железа (мг/дм³) (1981–2019 гг.) по пятилетиям

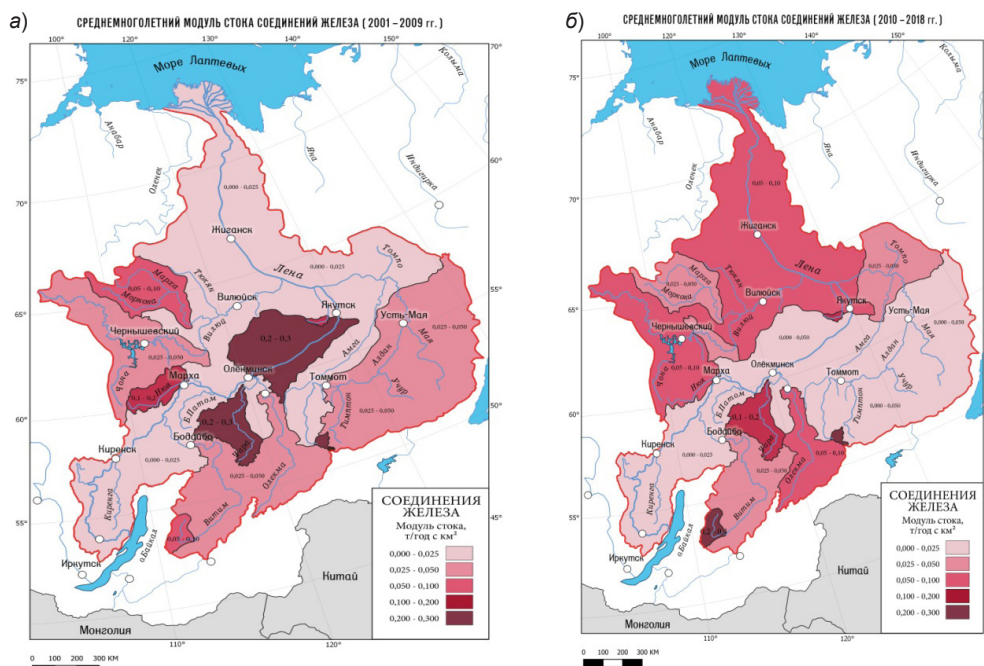


Рис. 4. Среднегодовые значения модуля стока соединений железа в бассейне р. Лены: а — 2001–2009 гг.; б — 2010–2019 гг.

с одного км<sup>2</sup>. Только на участке р. Лены от г. Олекминска до г. Якутска за 2001–2009 гг. значения модуля составили 57,0 кг/год с одного км<sup>2</sup>. Максимальные значения модуля за 2010–2019 гг. отмечались на некоторых участках р. Витим.

**Азот нитритный.** За первый исследуемый период (2001–2009 гг.) превышение нормы (ПДК 0,02 мг/дм<sup>3</sup>) прослеживалось в р. Лене на участке от р. п. Пеледуй до г. Покровска; на участке р. Алдан ниже Охотского Перевоза, а также в р. Амге

ниже села Амги (до 0,029 мг/дм<sup>3</sup>). За период с 2010 по 2019 гг. участков с превышением ПДК стало намного больше, и концентрации значительно увеличились: в р. Лене выше г. Усть-Кут, от г. Ленска до г. Олекминска и ниже г. Жиганска; в р. Алдан на всем протяжении и р. Мархе (до 0,046 мг/дм<sup>3</sup>).

**Качество воды в бассейне р. Лены.** По данным наблюдений за 2019 год в категорию характерных загрязняющих веществ, концентрации

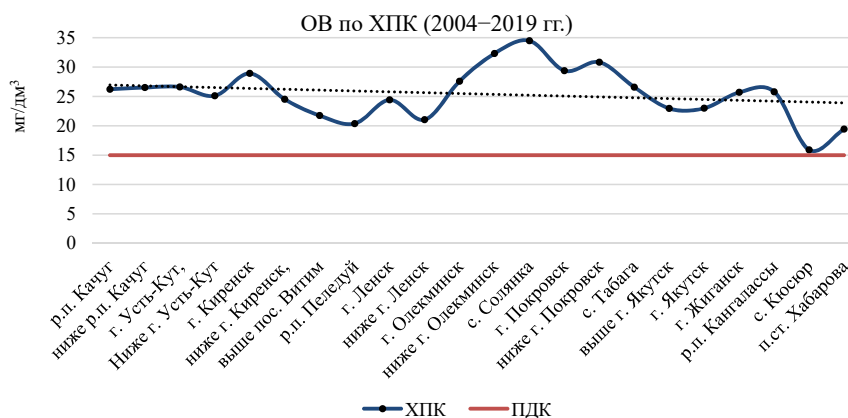


Рис. 5. Среднегодовое содержание трудноокисляемых органических веществ по ХПК по длине р. Лены (2004–2019 гг.)

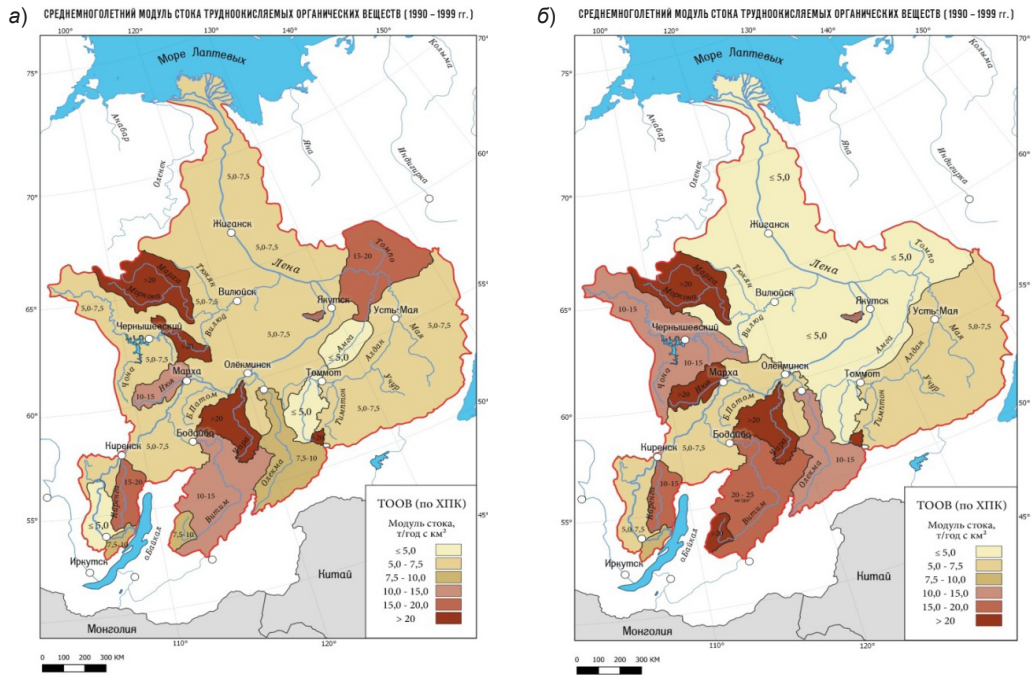


Рис. 6. Среднегодовые значения модуля стока трудноокисляемых органических веществ в бассейне р. Лены: а — 2001–2009 гг.; б — 2010–2019 гг.

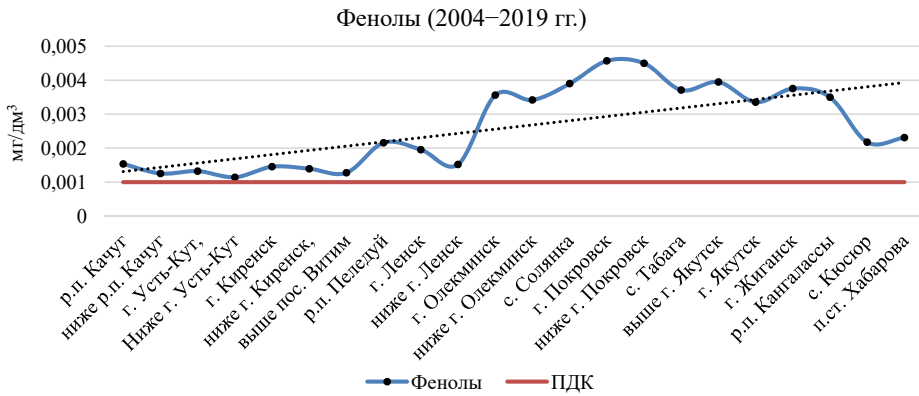


Рис. 7. Среднеголетнее содержание фенолов по длине р. Лены (2004–2019 гг.)

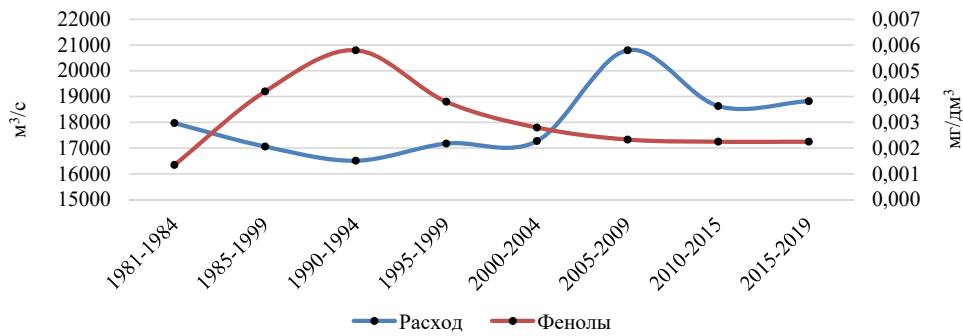


Рис. 8. Динамика содержания расхода воды (м<sup>3</sup>/с) и фенолов (мг/дм<sup>3</sup>) в р. Лене (с. Кюсюр) (2001–2019 гг.)

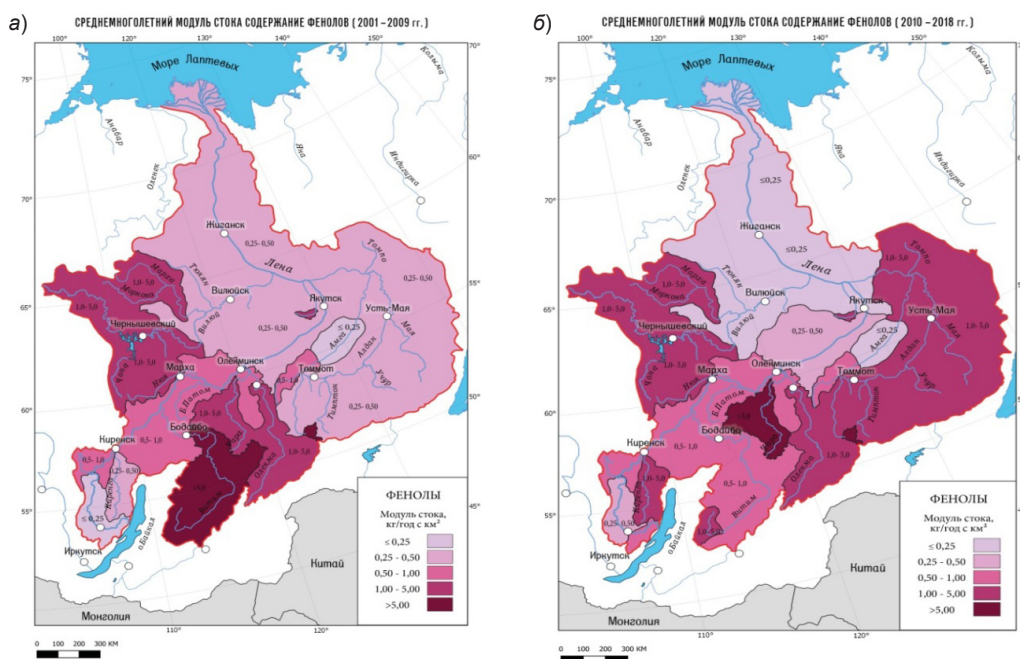


Рис. 9. Среднеголетние значения модуля стока фенолов в бассейне р. Лены: а — 2001–2009 гг.; б — 2010–2019 гг.

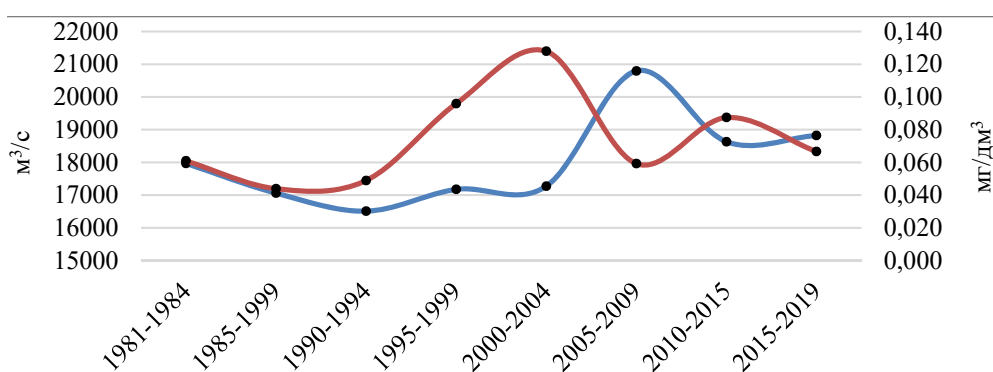


Рис. 10. Динамика содержания нефтепродуктов и расходов воды в р. Лене (с. Кюсюр) (1981–2019 гг.)

которых превышают ПДК более чем в 50 % случаев (проб), вошли следующие химические вещества: органические вещества (ОВ) по ХПК в верхнем течении реки; ОВ и соединения меди в среднем течении; ОВ, нефтепродукты, фенолы, соединения меди, железа и марганца в нижнем течении Лены. Для ее крупных притоков перечень характерных загрязняющих веществ включает органические вещества, азот аммонийный, фенолы, соединения железа, меди, марганца, цинка и алюминия (таблица).

Высокое содержание некоторых металлов в речных водах в бассейне Лены подтвержда-

ется и данными экспедиционных исследований [1, 2]. Содержание соединений железа (от 0,13 до 0,26 мг/дм³) и алюминия (от 0,12 до 0,20 мг/дм³), по данным А. Г. Георгиади с соавторами, «увеличивающееся вниз по течению, типично для рек зоны вечной мерзлоты с неглубоким слоем сезонного протаивания, обилием болотистых и тундровых земель. Большая часть железа, до 70 %, содержится в водах р. Лены в форме органоминеральных коллоидов... индикаторное отношение  $U/Th < 1$ . Общее содержание редкоземельных элементов — высокое, от 0,99 до 2,61 мкг/дм³,

что говорит о значительном влиянии подземных источников на химический состав речных вод».

В последние годы качество воды в бассейне р. Лены меняется от 2-го класса качества («слабо загрязненная» водная среда) в верхнем течении реки до 4-го класса («грязная» водная среда) в пунктах наблюдений на притоках. В целом же качество воды соответствует 3-му классу качества и на различных участках речного бассейна она характеризуется как «загрязненная» или «очень загрязненная», при этом наиболее напряженная ситуация отмечается в р. Олекме.

#### Заключение

Представлены результаты анализа пространственно-временной изменчивости содержания и гидрохимического стока наиболее информа-

тивных гидрохимических компонентов за два периода (2001–2009 и 2010–2019 гг.) в бассейне р. Лены.

Анализ изменений водного стока в бассейне р. Лены показал, что наиболее заметный рост годовых расходов воды произошел в восточной части водосбора и чаще всего наблюдался рост годового, межennaleго и минимального стоков.

Химический состав речных вод в бассейне характеризуется в основном малой минерализацией и пониженным содержанием хлоридов и сульфатов. На общем фоне выделяются река Нюя и дельта р. Лены.

Для большинства участков реки Лены и ее притоков наблюдается повышенное (превышающее ПДК в несколько раз) содержание соедине-

### Качество воды и наиболее характерные загрязняющие вещества в бассейне р. Лены (по данным на 2019 г.)

Пункт наблюдений / участок реки	Характерные загрязняющие вещества (кратность превышения ПДК)	Класс качества воды (степень загрязненности)
<b>Река Лена</b>		
р. п. Качуг — г. Киренск	Органическое вещество по ХПК (1,0–3,0) и по БПК <sub>5</sub> (1,0–1,3)	2-й – 3-й «а» класс («слабо загрязненная» – «загрязненная»)
р. п. Пеледуй — г. Ленск	Органическое вещество по ХПК (1,2–1,5)	2-й – 1-й класс («слабо загрязненная» – «условно чистая»)
г. Олекминск	Органическое вещество по ХПК (2,2–2,5), фенолы (4), соединения меди и цинка (2,0–3,0)	3-й класс, разряд «а», «б» («загрязненная» – «очень загрязненная»)
с. Солянка — с. Табага	Фенолы (5,0–6,0), органическое вещество по ХПК (2,2–2,8), соединения меди (2,0)	
г. Якутск	Фенолы (3,5–5,0), органическое вещество по ХПК (1,5–2,0), соединения меди (1,0–2,0)	3-й класс, разряд «а», «б» («загрязненная» – «очень загрязненная»)
р. п. Кангалассы — с. Жиганск	Фенолы (4,0–5,0), органическое вещество по ХПК (1,7–2,5), соединения меди (4,0)	
с. Кюсюр — п. ст. Хабарова	Органическое вещество по ХПК (1,1), нефтепродукты (1,5), фенолы (2,0–3,0), соединения меди, железа и марганца (2,0–3,0)	3-й класс, разряд «б» («очень загрязненная»)
<b>Притоки р. Лены</b>		
р. Витим — с. Романовка	Органическое вещество по ХПК (2,3), фенолы (2,0), соединения железа (3,0), меди (4,0), цинка (2,0)	3-й класс, разряд «б» («очень загрязненная»)
р. Олекма — с. Усть-Нюкжа — с. Куду-Кель	Органическое вещество по ХПК (1,5–2,0), азот аммонийный (2,0), фенолы (5,0), соединения марганца (5,0), цинка и железа (по 7,0), меди (3,5), алюминия (6,0)	4-й класс, разряд «а» – «грязная» у с. Усть-Нюкжа – 3-й класс, разряд «б» («очень загрязненная») у с. Куду-Кель
р. Алдан — г. Томмот — з. с. Верхоянский Перевоз	Фенолы (3,0–4,0), органическое вещество по ХПК (1,5–1,7), соединения цинка (5,0) и меди (2,0–7,0)	3-й класс, разряд «а», «б» («загрязненная» – «очень загрязненная»)
р. Амга (приток Алдана) — с. Буяга — с. Амга	Органическое вещество по ХПК (1,8), фенолы (3,0–8,0), соединения меди (1,5–2,0)	3-й класс, разряд «а», «б» («загрязненная» – «очень загрязненная»)
р. Виллой — п. Чернышевский — г. Виллойск	Фенолы (5,0–6,0), органическое вещество по ХПК (2,7–5,0), соединения меди и железа (2,0–3,0)	3-й класс, разряд «б» («очень загрязненная»)

ний железа, меди, органических веществ и фенолов. Это связано в первую очередь с природными факторами формирования химического состава воды рек в бассейне Лены.

В распределении химического стока выявлена пространственная неоднородность, обусловленная локальными региональными особенностями отдельных притоков.

Качество воды в бассейне р. Лены соответствует 3-му классу и характеризуется как «загрязненная» или «очень загрязненная».

Выполненный анализ водных ресурсов бассейна р. Лены с учетом их качества в современных условиях позволил выделить основные загрязняющие вещества и определить динамику их стока. Полученные результаты принципиально важны для оценки качества вод бассейна реки Лены и других рек Сибири.

### Благодарности

Работа проводилась в рамках научной программы Института водных проблем, проект № АААА-А18-118022090056-0.

### Литература

1. Георгиади, А. Г., Тананаев, Н. И. и Духова, Л. А. (2019). Гидрохимический режим реки Лены в августе 2018 г. *Океанология*, Т. 59, № 5, сс. 881–884. DOI: 10.31857/S0030-1574595881884.
2. Джамалов, Р. Г., Решетняк, О. С., Галагур, К. Г., Власов, К. Г., Сафронова, Т. И. и Оботуров, А. С. (2020). Гидрохимический сток рек Европейской части России // *Недропользование XXI век*, № 5 (88), сс. 114–121.
3. Джамалов, Р. Г., Решетняк, О. С. и Трофимчук, М. М. (ред.) (2020). Гидрохимический сток рек Европейской части России. Атлас. М.: ИВП РАН, 155 с.
4. Джамалов, Р. Г. и Сафронова, Т. И. (2017). Современные водные ресурсы Восточной Сибири. *Природа*, № 8 (1224), сс. 24–31.
5. Джамалов, Р. Г. и Фролова, Н. Л. (ред.) (2014). Атлас возобновляемых водных ресурсов Европейской части России. М.: ИВП РАН, 96 с.
6. Джамалов, Р. Г. и Фролова, Н. Л. (ред.) (2015). Современные ресурсы подземных и поверхностных вод Европейской части России. М.: ГЕОС, 319 с.
7. Джамалов, Р. Г., Фролова, Н. Л., Киреева, М. Б. и Телегина, А. А. (2013). Изменения поверхностного и подземного стока рек России и их режимов в условиях нестационарного климата. *Вестник РФФИ*, № 2 (78), сс. 34–42.
8. Никаноров, А. М. (2011). Региональная гидрохимия. Ростов н/Дону: НОК, 389 с.
9. Иванова, Р. Н. и Санников, И. И. (2018). Экологическое состояние природных систем среднего и нижнего течения р. Лены. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*, № 3 (11), сс. 34–41. DOI: 10.25587/SVFU.2018.11.17745.
10. Саввинов, Д. Д. (ред.) (1992). Экология бассейна р. Вилюй: промышленное загрязнение. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 120 с.
11. Трофимчук, М. М. (ред.) (2019). Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2018. Ростов н/Дону: ГХИ, 561 с.
12. Шпакова, Р. Н. (1999). Формирование качества воды реки Лена в современный период. Автореферат диссертации на соискание степени кандидата географических наук. Москва.
13. Dzhamalov, R. G., Krichevets, G. N. and Safronova T. I. (2012). Current changes in water resources in Lena River basin. *Water Resources*, Vol. 39, Issue 2, pp. 147–160. DOI: 10.1134/S0097807812020042.
14. Dzhamalov, R. G. and Safronova, T. I. (2018). Effect of permafrost rocks on water resources formation in Eastern Siberia: case study of some rivers in Eastern Siberia. *Water Resources*, Vol. 45, Issue 4, pp. 455–465. DOI: 10.1134/S0097807818040097.

### References

1. Georgiadi, A. G., Tananaev, N. I. and Dukhova, L. A. (2019). Hydrochemical regime of the Lena River in August 2018. *Okeanologiya*, Vol. 59, No. 5, pp. 881–884. DOI: 10.31857/S00301574595881884.
2. Dzhamalov, R. G., Reshetnyak, O. S., Galagur, K. G., Vlasov, K. G., Safronova, T. I. and Oboturov, A. S. (2020). Hydrochemical flow of rivers of the European part of Russia. *Nedropolzovaniye XXI Vek*, No. 5 (88), pp. 114–121.
3. Dzhamalov, R. G., Reshetnyak, O. S. and Trofimchuk, M. M. (eds.) (2020). *Hydrochemical runoff of rivers in European Russia. Atlas*. Moscow: Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, 155 p.
4. Dzhamalov, R. G. and Safronova, T. I. (2017). Modern water resources of Eastern Siberia. *Priroda*, No. 8 (1224), pp. 24–31.
5. Dzhamalov, R. G. and Frolova, N. L. (eds.) (2014). *Atlas of renewable water resources in European Russia*. Moscow: Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, 96 p.
6. Dzhamalov, R. G. and Frolova, N. L. (eds.) (2015). *Current resources of ground and surface waters in European Russia*. Moscow: GEOS, 319 p.
7. Dzhamalov, R. G., Frolova, N. L., Kireeva, M. B. and Telegina, A. A. (2013). Variations in surface and subsurface runoff and the regimes of Russian rivers under unsteady climate. *RFBR Journal*, No. 2 (78), pp. 34–42.
8. Nikanorov, A. M. (2011). *Regional hydrochemistry*. Rostov-on-Don: NOK Publishing House, 389 p.
9. Ivanova, R. N. and Sannikov, I. I. (2018). Ecological condition of the natural systems of the Lena River middle and lower reaches. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Series "Earth Sciences"*, No. 3 (11), pp. 34–41. DOI: 10.25587/SVFU.2018.11.17745.
10. Savvinov, D. D. (ed.) (1992). *Ecology of the Vilyuy River basin: industrial pollution*. Yakutsk: Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, 120 p.
11. Trofimchuk, M. M. (ed.) (2019). *Quality of surface waters in the Russian Federation. Annual report. 2018*. Rostov-on-Don: Hydrochemical Institute, 561 p.
12. Shpakova, R. N. (1999). *Water quality formation in the Lena River in the modern period. Author's Abstract of PhD Thesis in Geography*. Moscow.
13. Dzhamalov, R. G., Krichevets, G. N. and Safronova T. I. (2012). Current changes in water resources in Lena River basin.

*Water Resources*, Vol. 39, Issue 2, pp. 147–160. DOI: 10.1134/S0097807812020042.

14. Dzhamalov, R. G. and Safronova, T. I. (2018). Effect of permafrost rocks on water resources formation in Eastern Siberia: case study of some rivers in Eastern Siberia. *Water Resources*, Vol. 45, Issue 4, pp. 455–465. DOI: 10.1134/S0097807818040097.

#### Авторы

**Джамалов Роальд Гамидович**, д-р геол.-минер. наук, профессор  
ФГБУ «Институт водных проблем РАН», г. Москва, Россия  
E-mail: roald@iwp.ru

**Решетняк Ольга Сергеевна**, канд. геогр. наук, доцент  
ФГБУ «Гидрохимический институт», Ростов-на-Дону, Россия  
Институт наук о Земле Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Россия  
E-mail: olgare1@mail.ru

**Власов Константин Григорьевич**, м. н. с.  
ФГБУН «Институт водных проблем РАН», Москва, Россия  
Раб. телефон 8(499) 783-37-57  
E-mail: vlkg99@gmail.com

**Галагур Кристина Геннадьевна**, м. н. с.  
ФГБУН «Институт водных проблем РАН», Москва, Россия  
E-mail: kristina3286@yandex.ru

**Оботуров Артем Сергеевич**, инженер  
ФГБУН «Институт водных проблем РАН», Москва, Россия  
E-mail: phantom-91\_91@mail.ru

**Сафронова Татьяна Ивановна**, вед. инженер  
ФГБУН «Институт водных проблем РАН», Москва, Россия  
E-mail: tisafr@yandex.ru

#### Authors

**Roald Gamidovich Dzhamalov**, DSc in Geology and Mineralogy, Professor  
Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
E-mail: roald@iwp.ru

**Olga Sergeevna Reshetnyak**, PhD in Geography, Associate Professor  
Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don, Russia  
Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: olgare1@mail.ru

**Konstantin Grigoryevich Vlasov**, Junior Research Associate  
Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
E-mail: vlkg99@gmail.com

**Kristina Gennadyevna Galagur**, Junior Research Associate  
Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
E-mail: kristina3286@yandex.ru

**Artem Sergeevich Oboturov**, Engineer  
Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
E-mail: phantom-91\_91@mail.ru

**Tatiana Ivanovna Safronova**, Lead Engineer  
Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
E-mail: tisafr@yandex.ru