

Анализ пространственно-временной изменчивости гидрохимических компонентов рек бассейна Лены

Р. Г. Джамалов¹, К. Г. Власов¹, К. Г. Галагур¹ ✉,
Т. И. Сафронова¹, О. С. Решетняк², А. С. Оботуров¹

¹Институт водных проблем Российской академии наук, Российская Федерация
(117312, г. Москва, ул. Губкина, 3)

²Гидрохимический институт, Российская Федерация
(344090, г. Ростов-на-Дону, Стачки проспект, 198)

Аннотация: Цель – анализ пространственно-временной изменчивости гидрохимических компонентов рек бассейна Лены.

Материалы и методы. Представлены результаты анализа пространственно-временной изменчивости содержания наиболее информативных гидрохимических компонентов за два периода (2010-2015 и 2016-2019 годы) в бассейне реки Лены в соответствии с существующими наиболее жесткими нормативами для водоёмов рыбохозяйственного использования.

Результаты и обсуждение. Построены карты временной динамики по основным гидрохимическим показателям (минерализация воды, сульфаты, хлориды; нефтепродукты; фенолы, соединения железа и меди).

Выводы. Выявлено, что наиболее часто превышают предельно-допустимые концентрации рыбохозяйственного назначения – медь, железо, органические вещества и фенолы, реже – нефтепродукты.

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

Источник финансирования: Работа проводилась в рамках научной программы Института водных проблем, проект № FMWZ-2022-0001.

Для цитирования: Джамалов Р. Г., Власов К. Г., Галагур К. Г., Сафронова Т. И., Решетняк О. С., Оботуров А. С. Анализ пространственно-временной изменчивости гидрохимических компонентов рек бассейна Лены // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2022, № 2, с. 102-110. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9316>

ВВЕДЕНИЕ

Река Лена по длине, водности и площади водосбора относится к величайшим рекам мира и принадлежит к бассейну моря Лаптевых. Лена берет свое начало на западном склоне Байкальского хребта, к западу от берега озера Байкал и впадает в море Лаптевых.

Питание и режим реки Лена определяются ее началом и протеканием в зоне вечной мерзлоты. Характерно смешанное питание реки – талые и дождевые воды. Речная сеть в бассейне реки Лены распределена неравномерно. Густота речной сети относительно большая, в среднем 0,5 км/км².

Бассейн Лены располагается в регионе с самыми суровыми климатическими условиями.

Территория бассейна реки пересекает три широтных климатических пояса – арктический, субарктический и умеренный.

В течение последних десятилетий в Восточной Сибири наблюдается существенное потепление. Оно приводит к увеличению температуры приземного воздуха и атмосферного увлажнения, росту глубины протаивания многолетнемерзлых пород и болотных массивов, изменению величин речного и подземного стока [4].

Климат резко континентальный: амплитуда температур достигала в городе Якутск по абсолютному минимуму – максимуму 102 °С, по среднемесячной величине – 61,9 °С (минимум – 43,2 °С, максимум + 18,7 °С) [7, 8].



Анализируемая река относится к восточносибирскому типу рек. Водный режим рек отличается высоким весенним половодьем и паводками в теплое время года. Наличие сплошной мерзлоты препятствует инфильтрации весенних талых вод и способствует их интенсивному поверхностному стоку, вследствие чего половодье и паводки проходят сравнительно быстро (1-2 месяца) [9].

Предыдущие исследования авторов о влиянии климата на современные условия формирования режима стока рек Восточной Сибири показали существенные изменения годовых и сезонных величин речного и подземного стока [2, 3, 5].

Для режима Лены характерно наличие весеннего половодья, когда проходит от 34 % годового стока (на верхней части в пределах Иркутской области) до 59 % (на нижней части у Кюсюра). Основные фазы режима реки – весеннее половодье, летне-осенний и зимний периоды. Период весеннего половодья приходится на май-июнь, летне-осенней межени – на июль, август, сентябрь, октябрь, период зимней межени длится с ноября по апрель [6, 9].

Для анализа изменения водного стока за 1981–2019 годов были выбраны 23 поста с достаточно продолжительными рядами наблюдений. Наиболее заметный рост годовых расходов воды произошел в восточной части бассейна Лены, в бассейне реки Алдан.

В западной части бассейна Лены, в бассейне Вилюя, на трех постах выявлен рост годовых расходов воды (в том числе на замыкающем гидропосте Хатырык-Хомо) и только на одном – снижение (река Марха – гидропост Чумпурук).

Пространственная картина трендов максимальных месячных расходов воды близка к среднегодовым расходам. Значимое изменение Q_{\max} произошло лишь на притоках Алдана – реках Аллах-Юнь и Амга. При этом на самом Алдане Q_{\max} практически не изменился. Также как и для Q_{mean} , тренд Q_{\max} имеет тенденцию к росту от верховий к низовьям.

Характерная особенность исследуемой территории – практически повсеместное распространение многолетнемерзлых пород (ММП). Мощность ММП в северных и центральных районах достигает 200–500 м и более. Повышение годовой и особенно зимней температуры приводит к уменьшению глубины промерзания ММП, заметному увеличению мощности сезонно-талого (деятельного) слоя, который способствует частичному или полному перераспределению влаги по сезонам года, определяет величину влагозапасов на водосборе.

Еще одна важная особенность территории – сильная заболоченность. В связи с потеплением климата болота становятся более теплыми, мерзлый торф оттаивает на большую глубину. В результате болотные комплексы могут служить дополнительным источником питания малых и средних притоков Лены, Вилюя, Алдана и других рек в зоне островной и прерывистой мерзлоты [2].

Доля подземного стока на рассматриваемой территории сравнительно невелика и колеблется в пределах 4-12 %. Питание рек подземными водами осложняется мощной толщей многолетней мерзлоты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исходный массив данных включена информация о химическом составе воды по 8 гидрохимическим показателям за период с 2010 по 2019 годы: минерализация воды, главные ионы – хлориды (Cl^-), сульфаты (SO_4^{2-}); органические вещества по показателям БПК₅ и ХПК; фенолы; соединения железа ($\text{Fe}_{\text{общ}}$) и меди (Cu).

По данным гидрохимических показателей построены карты с разбивкой на два периода (с 2010 по 2015 год и с 2016 по 2019 год), что позволило выявить пространственно-временную динамику изменения химического состава воды и стока химических веществ в бассейне реки Лена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Качество воды реки Лена формируется под влиянием естественных и антропогенных факторов. Из числа антропогенных факторов наибольшее негативное воздействие оказывают недостаточно очищенные и неочищенные сточные воды золото- и алмазодобывающей промышленности, сточные воды промышленных и хозяйственно-бытовых предприятий, а также объекты водного транспорта (суда речного флота, порты, судоверфи, нефтебазы и другие) [1, 8].

Наиболее характерными загрязняющими показателями для рек бассейна Лены являются медь, железо, органические вещества (по БПК₅ и ХПК) и фенолы, реже – нефтепродукты.

При оценке степени загрязненности поверхностных вод использовались критерии концентраций вредных веществ для рыбохозяйственных водоемов.

Главные ионы. В реках бассейна Лены минерализация варьирует от значения ниже предела обнаружения до 2140 мг/л. Наиболее высокая минерализация характерна для рек Нюя, Лена, Бирюк и Амга. Минерализация реки Лены превышает 2000 мг/л в 70 % исследованных проб воды,

отобранных в 2010-2019 годах. Для большинства же рек бассейна Лены – минерализация до 100 мг/л. Для реки Лены характерна отрицательная зависимость между водным стоком и минерализацией (корреляция Пирсона составляет $R = -0,74$).

В водах рек бассейна Лены содержание **хлоридов** варьирует от значений ниже предела обнаружения до 721 мг/л. Наиболее высокие среднееголетние концентрации хлоридов в 2010-2019 годах присущи рекам Нюя и Лена в верхнем течении и составляют 246 и 56 мг/л соответственно. В остальных исследованных реках среднееголетние концентрации не превышают 10 мг/л.

В весенний период (преимущественно в марте) в реках Лена, Нюя и Бирюк наблюдаются наивысшие концентрации хлоридов. В этот период концентрации хлоридов в реке Нюя доходят до 721 мг/л, что превышает 2 ПДК, в Лене до 530 мг/л (1,7 ПДК) и в реке Бирюк до 403 мг/л (1,3 ПДК). Эти концентрации в водах Лены превышают ПДК в 10 % исследованных проб, отобранных в марте 2010-2013 годов на участках реки у города Ленск, поселка Витим и села Солянка, а в 2014-2019 годах превышений ПДК не обнаружено. Наименьшие концентрации в водах реки Лены наблюдаются с мая по август. В этот период концентрации хлоридов варьируют от значений ниже предела обнаружения до 223 мг/л. Среднее содержание хлоридов в реке Лене в летний период не превышает ПДК. Для реки Нюя характерны постоянные ежегодные превышения ПДК по хлоридам. В 2010-2019 годах концентрации выше ПДК в водах реки были обнаружены с марта по май и с августа по октябрь. Отобранные пробы воды реки Нюя за исследованный период не соответствуют ПДК в 40 % случаев. Корреляция между среднегодовым водным стоком и среднегодовыми концентрациями хлоридов преимущественно отрицательная.

В водах рек бассейна Лены содержание **сульфатов** варьирует от значений ниже предела обнаружения до 635 мг/л. Наивысшие значения наблюдаются в реках Нюя и Бирюк, в бассейнах которых существуют выходы сульфатных источников. В этих реках среднееголетние значения около 2 ПДК. Больше чем в половине исследуемых рек содержание сульфатов не превышает 10 мг/л. В остальных реках содержание сульфатов за период 2010-2019 годов не превышает нормативных значений (100 мг/л). В реке Лене содержание сульфатов варьирует от значений ниже предела обнаружения до 281 мг/л (у города Ленск).

Органические вещества. В водах рек бассейна Лены содержание **трудноокисляемых органических веществ (по ХПК)** варьирует от значений ниже предела обнаружения до 206 мг/л (рис. 1). Наиболее высокое значение за исследованный период наблюдалось в реке Нюя в 2015 году в течение весеннего периода. Следует отметить, что для реки Нюя только 10 % измерений трудноокисляемых органических веществ по ХПК соответствуют ПДК, и эти данные относятся преимущественно к летнему периоду 2014 года.

ХПК в водах реки Лены варьирует от значений ниже предела обнаружения до 184 мг/л (более 12 ПДК). Наибольшие значения ХПК наблюдаются в верхнем течении реки, а наименьшие – в нижнем. Выше города Ленск отмечаются самые высокие концентрации ХПК. На данном участке реки Лены 72 % измерений ХПК находятся выше ПДК (15 мг/л), здесь воды относятся к категории «очень грязные». Пробы воды, превышающие 50 мг/л, составляют 10 %. Это один из наиболее загрязнённых участков на Лене.

По среднееголетним данным за исследованный период 2010-2019 годов только одна река (Большом Патом) относится к классу «грязные», здесь значения ХПК в основном не превышают 15 мг/л (ПДК). Остальные реки соответствуют классу «очень грязные», где ХПК превышает рыбохозяйственные ПДК. В наиболее «чистой» реке Большой Патом только 30 % измеренных значений ХПК превышает ПДК. Наиболее высокие значения в этой реке обнаружены в мае и составляют 2 ПДК. В других реках бассейна Лены максимальные значения ХПК также преобладают в мае, что, вероятно, связано с половодьем.

В водах рек бассейна Лены содержание **легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅)** варьирует от значений ниже предела обнаружения до 28,7 мг/л (рис. 2). По среднееголетним данным к «умеренно загрязнённым» относятся реки Амга, Кэнкэме, Марха, Шестаков, Большой Ыллымах и Алдан. В них среднееголетние значения БПК₅ варьируют от 2 до 3 мг/л. Река Нюя относится к категории «очень чистые». Здесь среднееголетние значения БПК₅ не превышают 1 мг/л, остальные исследованные реки являются чистыми (от 1,1 до 1,9 мг/л), однако максимальные обнаруженные в них концентрации иногда доходят до 7,5 мг/л (категория грязных вод).

Исследуя значения БПК₅ во всех пробах, отобранных в 2010-2019 годах в реке Лене, можно утверждать, что 76 % проб характеризуют воду

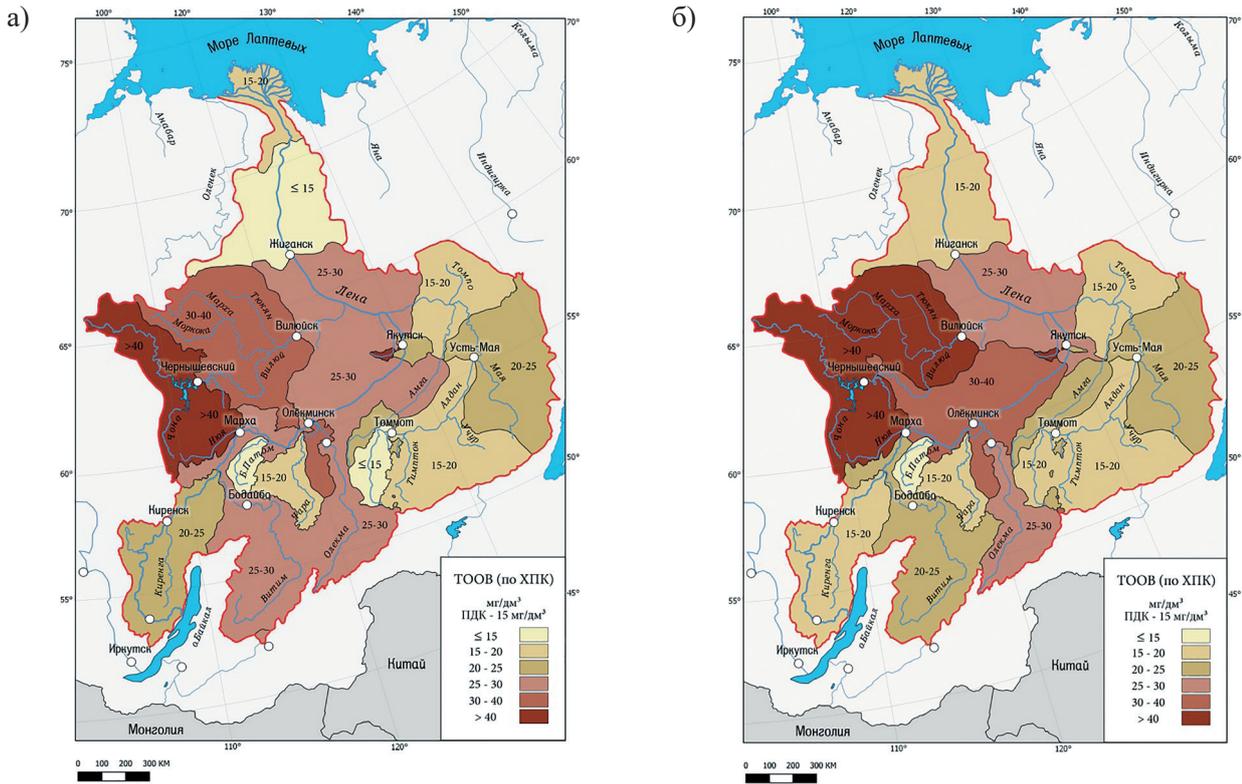


Рис. 1. Среднегодовое содержание трудноокисляемых органических веществ (по ХПК) в бассейне реки Лена за: а) 2010-2015 годы; б) 2016-2019 годы
 [Fig. 1. Average annual content of hard-to-oxidize organic substances in the Lena River basin for: а) 2010-2015; б) 2016-2019]

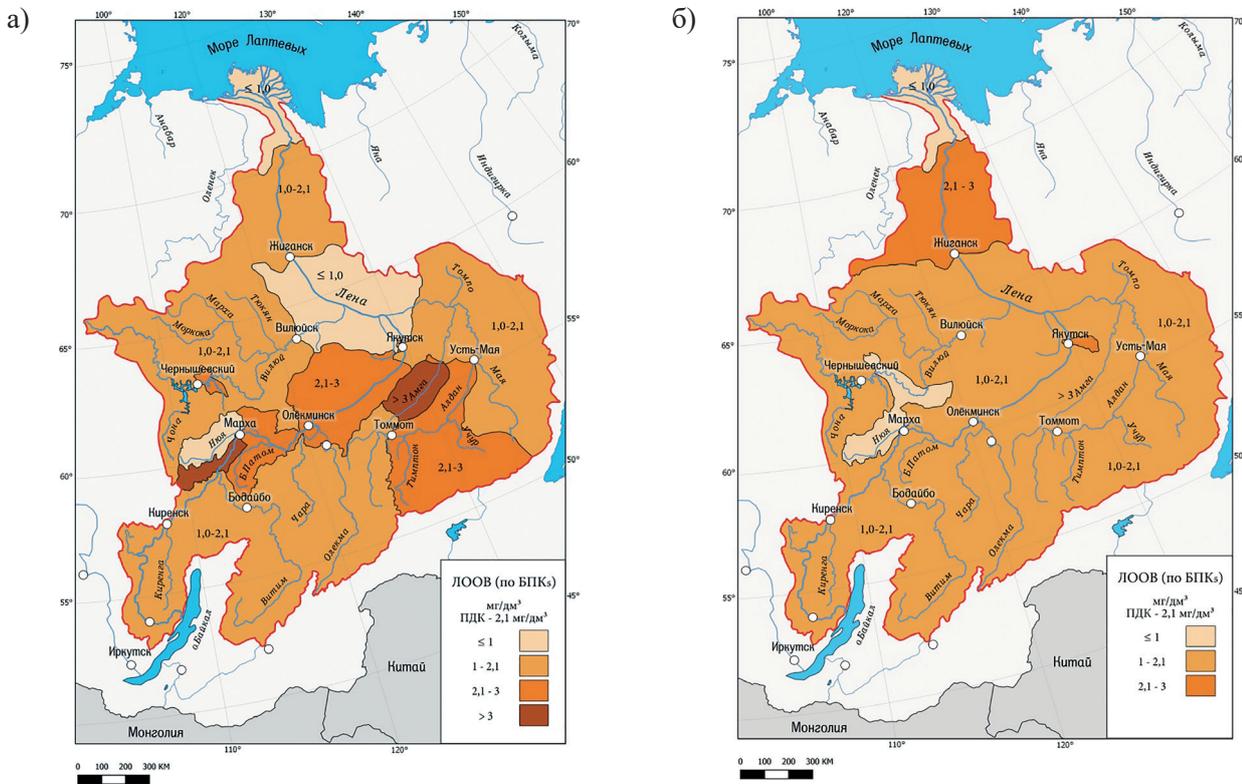


Рис. 2. Среднегодовое содержание легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) в бассейне реки Лена за: а) 2010-2015 годы; б) 2016-2019 годы
 [Fig. 2. Average annual content of easily oxidized organic substances in the Lena River basin for: а) 2010-2015; б) 2016-2019]

Лены как «чистую» и «очень чистую», 20 % – как «загрязненную» и «очень загрязненную», остальные 4% – как «грязную» и «очень грязную». Наиболее высокие значения БПК₅ в Лене наблюдаются у города Якутск. Значения более 10 мг/л были обнаружены в 2014 и 2019 годах. Однако эти высокие значения составляют менее 1 % от всех измеренных величин ниже города Якутск. Большинство измерений БПК₅ на этом участке (66 %) характеризуют воду как «чистую» и «очень чистую». Воды Лены периодически «грязные» (4-10 мг/л) у населенных пунктов Олекминск, Якутск, Солянка, Кангалассы, Жиганск, Покровск.

В реках бассейна Лены содержание **фенолов** варьирует от значений ниже предела обнаружения до 11 мкг/л (рис. 3). Максимальная концентрация обнаружена у города Покровск в 2010 году. По среднееголетним данным ПДК по фенолам превышено только в реках Чульман и Марха. Участки Лены максимально загрязнены фенолами у города Покровск (10 % измерений выше ПДК), Пеледуй (8 %), Олекминск (4,5 %), Якутск (3 %).

Тяжелые металлы. В водах рек бассейна Лены содержание соединений **железа** варьирует от значений ниже предела обнаружения до 5,9 мг/л (рис. 4). Наиболее высокие значения за исследо-

ванный период наблюдались в водах реки Вилюй в мае 2016 года. Наиболее высокие среднееголетние концентрации соединений железа, превышающие рыбохозяйственные ПДК, присущи рекам: Шестаковка, Малый Бекаркит, Кэнкэме и Танрагы. Реки, соответствующие рыбохозяйственным ПДК по среднееголетним данным: Чара, Марха, Нюя, Алдан, Амга, Якокит, Большой Патом.

Высокие концентрации соединений железа наблюдаются в реках бассейна Лены преимущественно в мае, что связано с высокими расходами в этот период. Для реки Лены характерно увеличение соединений железа вниз по течению: на посту Витим 82 % измерений соответствуют ПДК, а на посту Хабарова только 26 %.

В реках бассейна Лены содержание соединений **меди** варьирует от значений ниже предела обнаружения до 54 мкг/л (рис. 5). Наиболее высокая концентрация за исследованный период наблюдалась в водах реки Вилюй в мае 2016 года, что связано с сезонным увеличением расходов (половодье). Среднееголетние значения превышают 3 ПДК в реках Шестаковка, Тимптон, Кэнкэме.

В водах реки Лены концентрации соединений меди возрастают вниз по руслу. Ниже поста Хабарова измеренные концентрации соединений меди

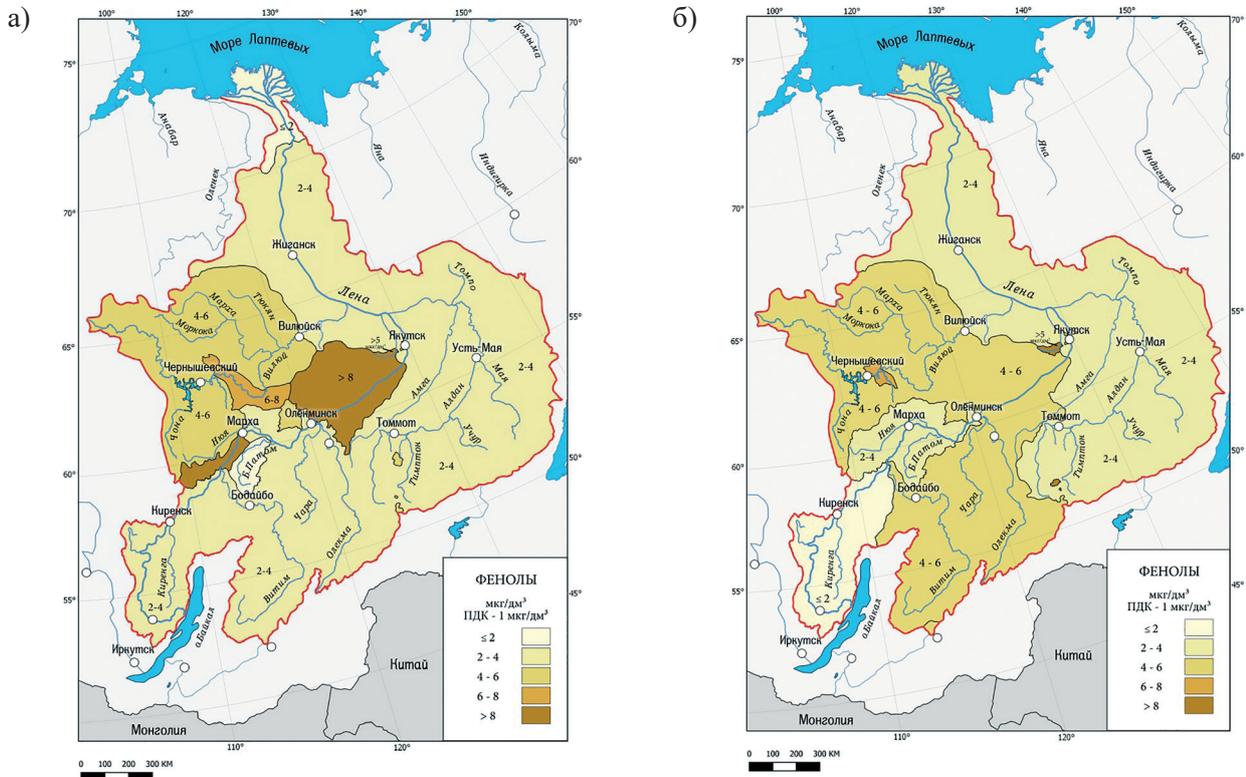


Рис. 3. Среднееголетнее содержание фенолов в бассейне реки Лена за:

а) 2010-2015 годы; б) 2016-2019 годы

[Fig. 3. Average annual phenol content in the Lena River basin for: a) 2010-2015; b) 2016-2019]

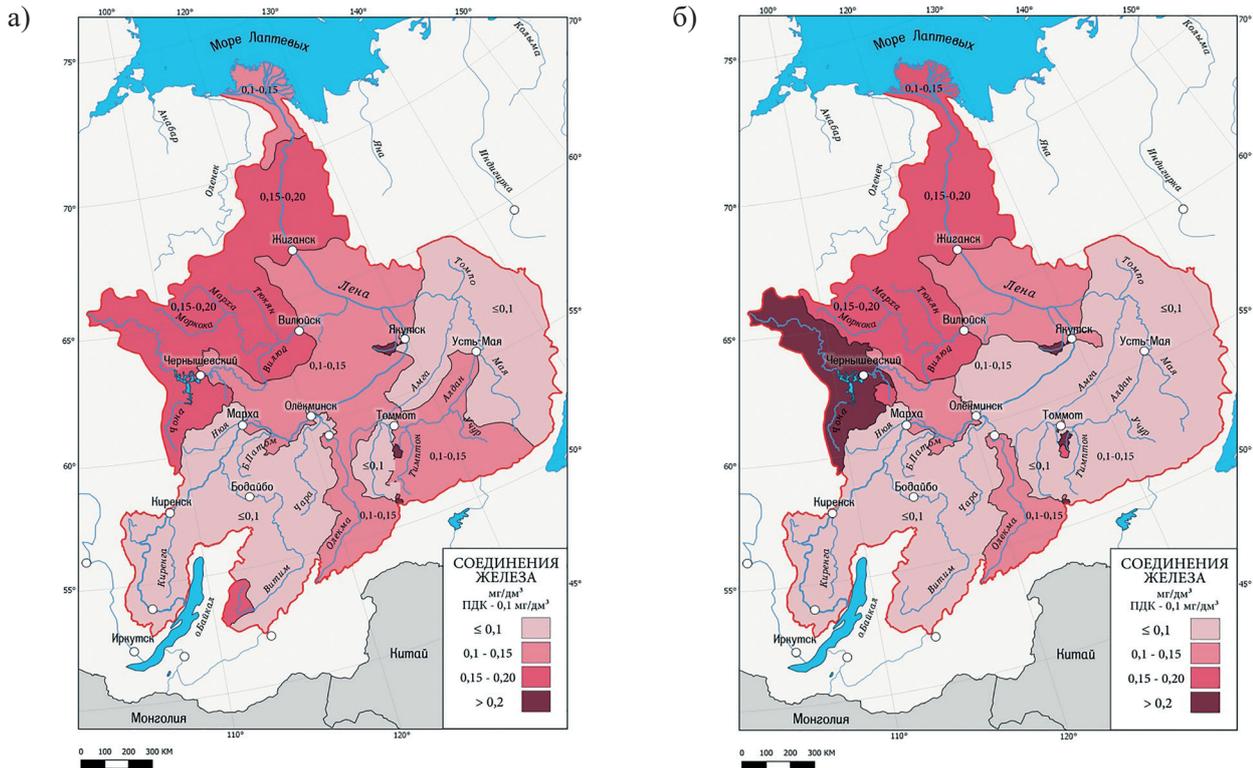


Рис.4. Среднегодовое содержание соединений железа в бассейне реки Лена за: а) 2010-2015 годы; б) 2016-2019 годы

[Fig. 4. The average annual content of iron compounds in the Lena River basin for: a) 2010-2015; b) 2016-2019]

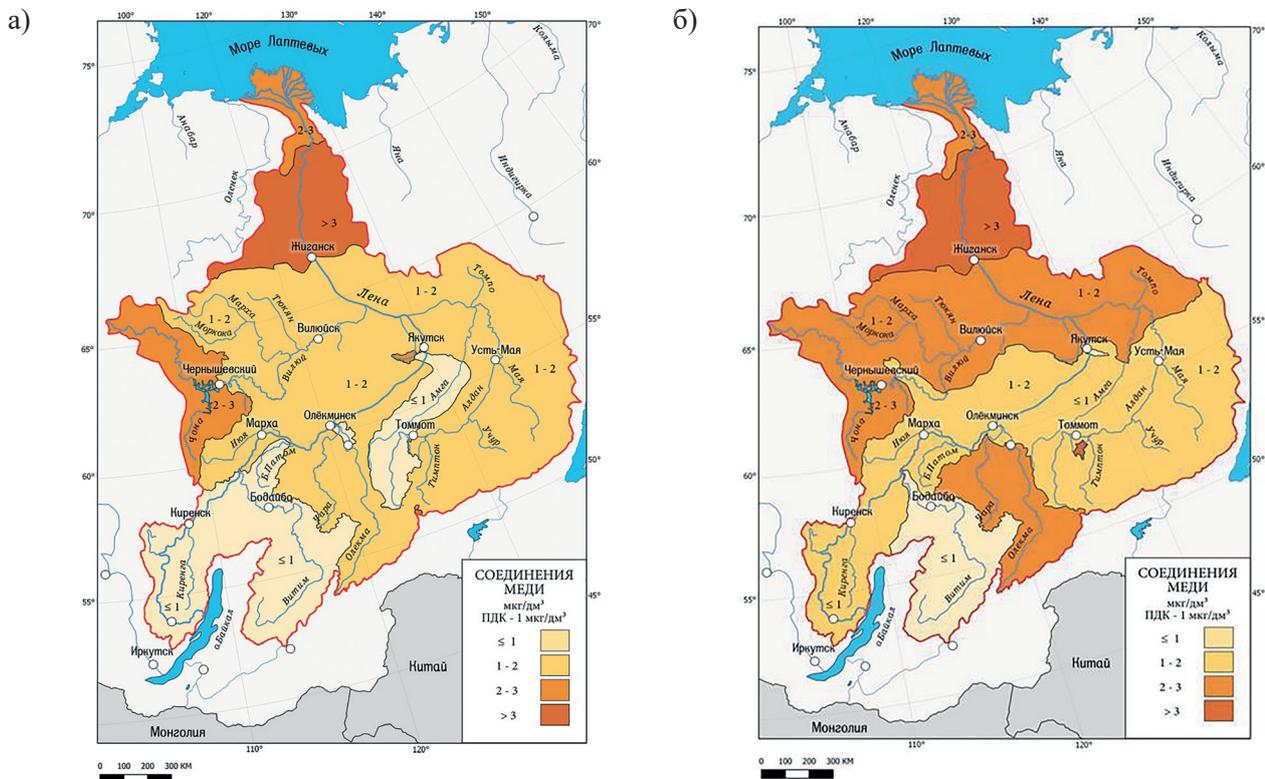


Рис.5. Среднегодовое содержание соединений меди в бассейне реки Лена за: а) 2010-2015 годы; б) 2016-2019 годы

[Fig. 5. The average annual content of copper compounds in the Lena River basin for: a) 2010-2015; б) 2016-2019]

соответствуют рыбохозяйственным ПДК в 28 % случаев. В мае, когда расходы Лены максимальны, все измеренные значения превышают ПДК.

В водах реки Алдан 54% измерений соответствует ПДК (только в мае - 38 %). В целом в водах Алдана концентрации соединений меди варьируют от значений ниже предела обнаружения до 22 мкг/л, среднемноголетнее значение соответствует 1 ПДК. Наименьшие концентрации в водах Алдана наблюдаются преимущественно у города Томот, где 63 % измерений соответствуют ПДК.

В водах реки Вилюй ниже села Сунтар периодически наблюдаются высокие концентрации соединений меди, достигающие 53 ПДК. На этом же участке 10 % измерений превышает 10 ПДК за исследованный период. По всему руслу реки только 25 % измерений за исследованный период соответствовали ПДК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены результаты анализа пространственно-временной изменчивости водного и гидрохимического стоков в бассейне реки Лены. В результате выявлено, что наиболее часто превышают ПДК рыбохозяйственные медь, железо, органические вещества (по БПК₅ и ХПК) и фенолы, реже – нефтепродукты.

В последние годы качество воды в бассейне реки 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 характеризуется как «загрязненная» или «очень загрязненная», при этом наиболее напряженная ситуация отмечается в реке Олекма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гидрохимический сток рек Европейской части России. Атлас* / Р.Г. Джамалов, О.С. Решетняк, Т.И. Сафронова и др. Москва: ИВП РАН, 2020. 155 с.
 2. Джамалов Р.Г., Кричевец Г.Н., Сафронова Т.И. Современные изменения водных ресурсов в бассейне р. Лены // *Водные ресурсы*, 2012, вып. 39, № 2, с. 131-145.
 3. Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И. Влияние многолетнемерзлых пород на формирование водных ресурсов Восточной Сибири (на примере отдельных рек Восточной Сибири) // *Водные ресурсы*, 2018, т. 45, № 4, с. 341-352.
 4. Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И. Современные водные ресурсы Восточной Сибири // *Природа*, 2017, № 8 (1224), с. 24-31.
 5. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л. *Атлас возобновляемых водных ресурсов Европейской части России*. Москва: ИВП РАН, 2015. 96 с.
 6. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л. *Современные ресурсы подземных и поверхностных вод Европейской части России*. Москва: ГЕОС, 2015. 320 с.
 7. *Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год*. Москва, 2020. 97 с.
 8. Никаноров А.М. *Региональная гидрохимия: учебное пособие*. Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2011. 388 с.
 9. *Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Лена*. Москва: Ленское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов, 2011. 348 с.
- Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 28.09.2021

Принята к публикации 30.05.2022

Analysis of the Spatial and Temporal Variability of Hydrochemical Components of the Rivers of the Lena Basin

R. G. Dzhamalov¹, K. G. Vlasov¹, K. G. Galagur¹ ✉,
T. I. Safronova¹, O. S. Reshetnyak², A. S. Oboturov¹

¹*Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation
(3 Gubkin str., Moscow, 117312)*

²*Hydrochemical Institute, Russian Federation
(198, Stachka avenue, Rostov-on-Don, 344090)*

Abstract: Purpose. The spatial-temporal variability of the hydrochemical components of the rivers of the Lena basin is analyzed.

Materials and methods. The results of the analysis of the spatial and temporal variability of the content of the most informative hydrochemical components for two periods (2010-2015 and 2016-2019) in the Lena River basin in accordance with the existing most stringent standards for fisheries use reservoirs are presented.

Result. Maps of the time dynamics for the main hydrochemical indicators (water mineralization, sulfates, chlorides; petroleum products) are constructed.; phenols, iron and copper compounds).

Conclusions. It was revealed that copper, iron, organic substances and phenols most often exceed the maximum permissible concentrations for fishery purposes, less often - petroleum products.

Key words: river water, hydrochemical runoff, anthropogenic impact, water quality, chemicals, pollutants.

Source of funding: The work was carried out within the framework of the scientific program of the Institute of Water Problems, project No. FMWZ-2022-0001.

For citation: Dzhamalov R. G., Vlasov K. G., Galagur K. G., Safronova T. I., Reshetnyak O. S., Oboturov A. S. Analysis of the Spatial and Temporal Variability of Hydrochemical Components of the Rivers of the Lena Basin. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografija. Geoekologija*, 2022, no. 2, pp. 102-110 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9316>

REFERENCES

1. *Gidrohimicheskij stok rek Evropejsko jchasti Rossii. Atlas* [Hydrochemical runoff of rivers in European Russia. Atlas] / Dzhamalov R. G., Reshetnyak O. S., Trofimchuk M. M. i dr. Moscow: Institut vodnyh problem Rossijskoj akademii nauk, 2020. 155 p. (In Russ.)
2. Dzhamalov R. G., Krichevets G. N., Safronova T. I. *Sovremennye izmeneniya vodnyh resursov v bassejne r. Leny* [Current changes in water resources in Lena river basin]. *Vodnye resursy*, 2012, no. 2, pp. 147-160. (In Russ.)
3. Dzhamalov R. G., Safronova T. I. Vliyanie mnogoletnemerzlyh porod na formirovanie vodnyh resursov Vostochnoj Sibiri (na primere otdel'nyh rek Vostochnoj Sibiri) [Effect of permafrost rocks on water resources formation in Eastern Siberia: case study of some rivers in Eastern Siberia]. *Vodnye resursy*, 2018, no. 4, pp. 455-465. (In Russ.)
4. Dzhamalov R. G., Safronova T. I. *Sovremennye vodnye resursy Vostochnoj Sibiri* [Modern water resources of Eastern Siberia]. *Priroda*, 2017, no. 8 (1224), pp. 24-31. (In Russ.)
5. Dzhamalov R. G., Frolova N. L. *Atlas vozobnovlyaemyh vodnyh resursov Evropejskoj chasti Rossii* [Atlas of renewable water resources in European Russia]. Moscow: Institut vodnyh problem Rossijskoj akademii nauk, 2015, 96 p. (In Russ.)
6. Dzhamalov R. G., Frolova N. L. *Sovremennye resursy podzemnyh i poverhnostnyh vod Evropejskoj chasti Rossii* [Current resources of ground and surface waters in European Russia]. Moscow: GEOS, 2015. 320 p. (In Russ.)
7. *Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2019 god* [Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2019]. Moscow, 2020, 97 p. (In Russ.)
8. Nikanorov A. M. *Regional'naya gidrohimiya: Uchebnoe posobie* [Regional hydrochemistry: A textbook]. Rostov-of-Don: Izd-vo «NOK», 2011. 388 p. (In Russ.)

© Dzhamalov R. G., Vlasov K. G., Galagur K. G., Safronova T. I., Reshetnyak O. S., Oboturov A. S., 2022

✉ Kristina G. Galagur, e-mail: kristina3286@yandex.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

9. *Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i ohrany vodnykh ob'ektov bassejna reki Lena* [Scheme of integrated use and protection of water bodies in the Lena River basin]. Moscow: Lenskoe bassejnovoe vodnoe upravlenie Federal'nogo agentstva vodnykh resursov, 2011. 348 p. (In Russ.)

Джамалов Роальд Гамидович
доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий лабораторией ФГБУ «Институт водных проблем РАН», главный научный сотрудник ФГБУ «Институт водных проблем РАН», г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7700-2010, e-mail: roald@iwp.ru

Власов Константин Григорьевич
младший научный сотрудник ФГБУН «Институт водных проблем РАН», г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-2943-8738, e-mail: vlkg99@gmail.com

Галагур Кристина Геннадьевна
младший научный сотрудник ФГБУН «Институт водных проблем РАН», г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-2277-0992, e-mail: kristina3286@yandex.ru

Сафронова Татьяна Ивановна
ведущий инженер ФГБУН «Институт водных проблем РАН», г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-3184-8472, e-mail: tisafr@yandex.ru

Решетняк Ольга Сергеевна
кандидат географических наук, старший научный сотрудник ФГБУ «Гидрохимический институт», доцент Института наук о Земле Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7160-2461, e-mail: olgare1@mail.ru

Оботуров Артем Сергеевич
инженер ФГБУН «Институт водных проблем РАН», г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7873-4934, e-mail: phantom-91_91@mail.ru

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 28.09.2021

Accepted: 30.05.2022

Roald G. Dzhamalov
Dr. (Geol.-Miner.) Sci., Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of Laboratory of FSBI "Institute of Water Problems RAS", Chief Researcher of FSBI "Institute of Water Problems RAS", Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-7700-2010, e-mail roald@iwp.ru

Konstantin G. Vlasov
junior researcher, Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-2943-8738, e-mail: vlkg99@gmail.com

Kristina G. Galagur
junior researcher, Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-2277-0992, e-mail: kristina3286@yandex.ru

Safronova T. Ivanovna
principal engineer, Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-3184-8472, e-mail: tisafr@yandex.ru

Olga S. Reshetnyak
Cand. (Geogr.) Sci., Senior Researcher of the Hydrochemical Institute, Associate Professor of the Earth Sciences Institute of Southern Federal University, Rostov-on-Donu, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-7160-2461, e-mail: olgare1@mail.ru

Artem S. Oboturov
engineer, Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-7873-4934, e-mail: phantom-91_91@mail.ru