

УДК 556.54

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕКИ ЛЕНЫ В АВГУСТЕ 2018 г.

© 2019 г. А. Г. Георгиади¹, Н. И. Тананаев², Л. А. Духова^{3*}

¹ *Институт географии РАН, Москва, Россия*

² *Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия*

³ *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия*
**e-mail: marecol@vniro.ru*

Поступила в редакцию 28.05.2019 г.

После доработки 28.05.2019 г.

Принята к публикации 18.06.2019 г.

Представлена информация о гидрохимических исследованиях, выполненных в августе 2018 г. в среднем и нижнем течении р. Лены от г. Якутска до пос. Кюсюр. По результатам исследований собрана база данных, состоящая из 80 показателей химического состава воды, включая стабильные изотопы воды, взвешенное вещество и растворенный органический углерод. Полученные результаты позволят количественно оценить потоки растворенных и взвешенных веществ в направлении от истока к устью реки Лены и установить закономерности трансформации этих потоков.

Ключевые слова: Арктика, река Лена, химический состав воды

DOI: 10.31857/S0030-1574595881-884

Многолетние изменения стока речных вод, взвешенных и растворенных веществ крупнейших рек Сибирской Арктики, чьи водосборы подстилаются многолетнемерзлыми породами, оказывают заметное влияние на стратификацию и циркуляцию морских водных масс, многолетнюю динамику морского льда и баланс химических веществ в прибрежной зоне Северного Ледовитого океана (СЛО).

Представленная в статье информация основана на результатах полевых работ, охвативших среднее и нижнее течение р. Лены от г. Якутска до пос. Кюсюр и проводившихся с 14 по 22 августа 2018 г. на пассажирском теплоходе «Механик Кулибин». Исследования выполнялись по проекту Российского фонда фундаментальных исследований «Влияние изменений климата на сток воды, наносов и растворенных веществ арктических рек России в первой половине XXI века» в рамках темы «Фундаментальные проблемы изучения и освоения Российской Арктики: природная и социальная среда». Основные задачи полевых исследований в рамках данного проекта включают: (а) определение расширенного набора гидрохимических показателей в замыкающем створе р. Лены и створах наблюдений в среднем и нижнем течении реки; (б) детальные исследования сезонной динамики гидрохимических харак-

теристик реки на основе учащенного отбора проб воды в период половодья и паводков.

Расположение станций отбора проб в экспедиции 2018 г. приведено на рисунке; в каждом створе пробы отбирали дважды — при движении вниз и вверх по течению. На этом участке площадь водосбора р. Лены увеличивается от 1.0 до 2.4 млн км², что связано с впадением крупных притоков: правобережного, р. Алдан, и левобережного, р. Вилюй, устье которого — граница между средним и нижним течением реки Лены. Водный режим реки — восточно-сибирский, с высоким весенне-летним половодьем (май–июнь), несколькими летними паводками и продолжительной зимней меженью [1]. Питание реки — тальми, дождевыми и подземными водами. В нижнем течении реки зимний сток увеличился в несколько десятков раз после строительства Вилюйской ГЭС [8].

Экспедиционные исследования проводились на спаде высокого дождевого паводка, сформировавшегося в южной части водосбора Лены, в бассейнах рр. Витим и Олекма.

Отбор проб проводился из приповерхностного слоя воды, с борта судна в движении либо во время остановки (рисунок). В полевых условиях образцы воды отбирали для определения содержания главных ионов, биогенных элементов,

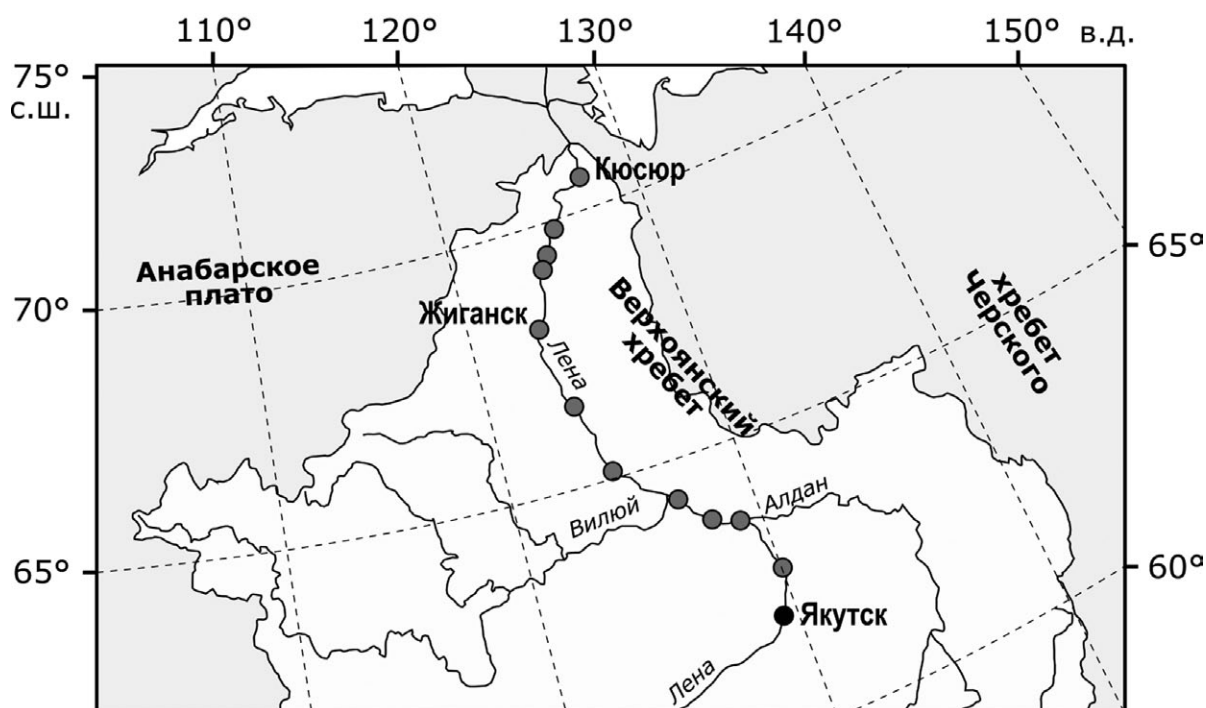


Рис. Схема расположения станций в среднем и нижнем течении р. Лены в августе 2018 г.

элементного состава, содержания стабильных изотопов воды, также были подготовлены фильтры для определения весовой мутности и потерь при прокаливании. Образцы для определения содержания растворенного органического углерода (РОУ) фильтровали через предварительно прокаленные и взвешенные стекловолоконные фильтры Whatman GF/F, для определения элементного состава — через шприцевые фильтры Corning с диаметром пор 0.22 мкм. До анализа в лаборатории образцы для определения биогенных элементов и фильтры для определения потерь при прокаливании сохраняли замороженными.

Лабораторное определение содержания главных ионов проводили методами титриметрии и капиллярного электрофореза в аналитической лаборатории ИМЗ СО РАН, г. Якутск. Определение стабильных изотопов воды были проведены в лаборатории физики климата и окружающей среды УрФУ в г. Екатеринбурге методом инфракрасной лазерной спектроскопии (cavity ring-down spectrometry) на приборе Picarro L2130i. Определение элементного состава выполняли методом масс-спектрометрии или атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой в аккредитованном аналитическом центре ВИМС им. Н. М. Федоровского, г. Москва.

В лаборатории ФГБНУ «ВНИРО» гидрохимические определения содержания биогенных

элементов выполняли спектрофотометрическими методами, принятыми при анализе пресных вод [2]. Содержание РОУ в основных образцах определялось методом каталитического высокотемпературного сжигания при 680°C на приборе Shimadzu TOC-Vcph, в контрольных образцах, обработанных в Институте леса им. В. Н. Сукачева КНЦ СО РАН, — высокотемпературным сжиганием при 850°C.

Изменчивость гидрохимических характеристик по длине реки — интегральный показатель изменчивости переменных, определяющих атмосферное, поверхностное и подземное питание реки: интенсивности снеготаяния, атмосферных осадков в равнинной и горной частях водосбора, сплошности многолетнемерзлых пород и динамики слоя сезонного протаивания. Биохимические процессы в водной толще, в первую очередь потребление и деструкция, оказывают влияние на изменчивость содержания биогенных элементов. Период исследований характеризуется, с одной стороны, спадом высокого дождевого паводка, сформировавшегося в южной части водосбора Лены, переходом реки на подземное питание, с другой стороны — окончанием биологического лета, началом затухания продукционных процессов.

Воды р. Лены, по классификации О. А. Алекина, относятся к гидрокарбонатно-кальциевому

типу. В исследуемый период значимая корреляционная связь общей минерализации с содержанием ионов кальция и гидрокарбонат-ионов отсутствовала. Наиболее значимая корреляция общей минерализации ($R^2 > 0.67$, $p < 0.05$) установлена с содержанием хлоридов и натрия. Предположительно, это связано с влиянием на ионный состав вод реки Лены в меженный период хлоридно-натриевых подземных вод Вилюйского бассейна [3]. Повышенные концентрации хлоридов и натрия наблюдались в зоне влияния вод р. Вилюй — 15.67 мг/дм³ и 10.10 мг/дм³, минимальные значения в узле слияния рр. Лены и Алдана — 0.39 мг/дм³ и 1.00 мг/дм³ соответственно. Содержание главных ионов по длине реки и во времени остается относительно неизменным, за исключением магния, содержание которого уменьшается от среднего течения к нижнему, хлоридов и натрия, содержание которых отражает химический состав вод притоков. Диапазон изменений концентраций основных ионов (таблица) и РОУ в летний период незначительно отличается от данных, полученных другими авторами в сходных гидрологических условиях [4–7].

Содержание взвешенного органического углерода находилось в пределах от 1.62 до 3.56 мг/дм³, РОУ — от 7.72 до 12.40 мг/дм³, мутность — от 6.76 до 35.6 мг/дм³. Наиболее высокие концентрации РОУ (от 9.5 до 12.4 мг/дм³), и общего железа (среднее содержание 0.054 мг/дм³) наблюдались в образцах, отобранных около левого берега, тогда как ближе к правому берегу — от 7.72 до 8.61 мг/дм³ и 0.035 мг/дм³ соответственно.

Содержание минеральных форм азота и фосфора мало, что характерно для конца летнего сезона, когда процессы фотосинтеза еще преобладают над деструкцией органического вещества. В итоге азот и фосфор вносят незначительный вклад в общий сток биогенных элементов в этот период (таблица). Воды р. Лены характеризуются повышенными концентрациями растворенного кремния (1.74–2.84 мг/дм³), пространственно-временная изменчивость которого определяется его поступлением с основными притоками и потреблением в процессе фотосинтеза. По содержанию растворенного кремния выделяются станции в районе с. Жиганск с концентрациями от 2.62 до 2.72 мг/дм³, максимальные значения 2.84 мг/дм³ наблюдались на средней Лене ниже г. Якутска.

Изотопный состав вод р. Лены существенно облегчен, что связано с континентальностью бассейна, его удаленностью от источников влаги, а также возможным влиянием подземного стока. Среднее по коллекции 2018 г. значение $\delta^{18}\text{O}$ составило -18.2‰, максимальное -17.5‰, минимальное -18.8‰. Полученные значения легче, чем среднее из августовских образцов ($\delta^{18}\text{O} = -17.5‰$, $n = 8$), собранных на гидрологическом посту (г.п.) Якутска в 1995–1999 гг. в рамках проекта GNIR (Global Network for Isotopes in Rivers), и тяжелее, чем такое же среднее ($\delta^{18}\text{O} = -18.6‰$, $n = 7$) по данным проекта ArcticGRO, проводящего наблюдения на г.п. Жиганск, за 2004–2018 гг. Во время экспедиционных работ изотопный состав становился незначительно легче с падением расхода воды.

Таблица. Ионный состав и величина рН вод р. Лены от г. Якутска до пос. Кюсюр в период с 14 по 22.08. 2018 г. и в июле–августе 2010 г. [5]

Период	14–22 августа 2018 г.		Июль–август 2010 г. [5]	
	Диапазон	Средн.	Диапазон	Средн.
Характеристика				
Ca ²⁺ , мг/дм ³	11.2–16.7	14.4	15.2–18.9	16.8
K ⁺ , мг/дм ³	0.40–0.80	0.59	0.5–1.1	0.6
Mg ²⁺ , мг/дм ³	2.81–4.84	3.83	3.6–4.5	4.0
Na ⁺ , мг/дм ³	1.0–11.80	5.01	4.1–8.8	5.5
Cl ⁻ , мг/дм ³	0.39–15.67	7.50	4.7–13.5	7.1
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	9.9–18.1	11.8	8.8–18.1	10.6
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	40.81–57.22	49.66	12.0–50.8	27.8
Li ⁺ , мг/дм ³	0–0.002	0	-	0.010
Ba ²⁺ , мг/дм ³	0	0	0.007–0.016	0.013
Sr, мг/дм ³	0.045–0.261	0.137	0.124–0.148	0.130
рН, ед. рН	6.6–7.06	6.83	6.9–7.9	-

Высокое содержание железа — от 0.13 до 0.26 мг/дм³, алюминия — от 0.12 до 0.2 мг/дм³, 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. Содержание большинства химических элементов по длине реки и во времени остается относительно неизменным, за исключением тория, содержание которого в водах нижнего течения в 2–3 раза меньше, и молибдена, содержание которого незначительно уменьшается с уменьшением расхода воды. На спаде паводка увеличивается содержание стронция (от 0.1 до 0.17 мг/дм³), и уменьшается — фтора (от 0.1 до 0.05 мг/дм³).

По результатам экспедиционных исследований подготовлена электронная база данных, включающая более 2500 элементопределений для 80 показателей химического состава одной их крупнейших рек Арктики. Полученные материалы позволят количественно оценить потоки растворенных и взвешенных веществ в направлении от истока к устью реки Лены, установить закономерности трансформации этих потоков и их межгодовую изменчивость.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-05-60240-Арктика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Георгиади А. Г., Кашутина Е. А.* Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Изв. РАН. Сер. географическая. 2016. № 5. С. 70–81.
2. *Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана* // Под ред. Сапожникова В. В. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
3. *Сидоров И. С.* Особенности формирования гидрохимического режима устьевой области р. Лена и юго-восточной части моря Лаптевых // Автореф. дисс. канд. геогр. наук. Ростов на Дону, 1992. 26 с.
4. *Cauwet G., Sidorov I.* The biogeochemistry of Lena River: organic carbon and nutrients distribution // *Marine Chemistry*. 1996. V. 53. P. 211–227.
5. *Fedorova I., Chetverova A., Bolshiyarov D. et al.* Lena Delta hydrology and geochemistry: Long-term hydrological data and recent field observations // *Biogeosciences*. 2015. V. 12. P. 345–363. DOI: 10.5194/bg-12-345-2015.
6. *Lobbes J. B., Fitznar H. P., Kattner G.* Biogeochemical characteristics of dissolved and particulate organic matter in Russian rivers entering the Arctic Ocean // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2000. V. 64. № 17. P. 2973–2983. DOI: 10.1016/S0016-7037(00)00409-9.
7. *Lara R. J., Rachold V., Kattner G. et al.* Dissolved organic matter and nutrients in the Lena River, Siberian Arctic: Characteristics and distribution // *Marine Chemistry*. 1998. V. 59. P. 301–309. DOI: 10.1016/S0304-4203(97)00076-5.
8. *Tananaev N., Makarieva O., Lebedeva L.* Trends in annual and extreme flows in the Lena River basin, Northern Eurasia // *Geoph. Res. Letters*. 2016. V. 43. P. 10764–10772. DOI: 10.1002/2016GL070796.

HYDROCHEMICAL REGIME OF THE LENA RIVER IN AUGUST 2018

© 2019 A. G. Georgiadi¹, N. L. Tananaev², L. A. Dukhova^{3*}

¹ *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

² *Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia*

³ *Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia*

*e-mail: marecol@vniro.ru

Received May 28, 2019

Revised version received May 28, 2019

After revision June 18, 2019

The new hydrochemical data collected during August 2018 cruise from Yakutsk to Kyusyur, in the middle and lower reaches of the Lena River, are presented. Field and laboratory data were collated into a database containing 80+ parameters, notably stable water isotopes, suspended sediment concentration and dissolved organic carbon. Presented results allow the quantitative assessment of fluxes of dissolved and suspended material toward the Lena River delta, and the deduction of the regularities of transformation of these fluxes.

Keywords: the Arctic, the Lena River, water chemistry