

В.П. ШЕСТЕРКИН, Н.М. ШЕСТЕРКИНАИнститут водных и экологических проблем ДВО РАН,
680000, Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56, Россия, shesterkin@ivep.as.khb.ru, shesterkina@ivep.as.khb.ru**СОДЕРЖАНИЕ И СТОК СУЛЬФАТОВ В ВОДЕ СРЕДНЕГО АМУРА
В МНОГОВОДНЫЕ ГОДЫ**

Дана оценка содержания и стока сульфатов в воде р. Амур у Хабаровска в многоводные годы. Показаны различия в значениях содержания и стока в зависимости от очага формирования наводнений на основе данных Росгидромета за 1951–1985 гг. Наблюдения проводились в 2013, 2019–2021 гг. Выявлена пространственная неоднородность распределения содержания сульфатов по ширине Амура вследствие больших различий в химическом составе вод его основных притоков (рек Зеи, Буреи, Сунгари и Уссури) и их вклада на всех этапах формирования наводнений. Наибольшее содержание сульфатов отмечается на середине реки, реже в правобережной части Амура, что обусловлено влиянием р. Сунгари, дренирующей наиболее освоенную и густо населенную часть бассейна, наименьшее содержание сульфатов — в левобережной части Амура за счет влияния зарегулированных рек Зеи и Буреи. Установлено, что на спаде наводнений содержание сульфатного иона достигает наибольших значений в результате поступления с затопленных сельхозугодий и урбанизированных территорий Китая. На пике наводков максимум стока сульфатов отмечался в 2013 и 2020 гг. (29,5 и 30,4 тыс. т/сут соответственно), значительно ниже — в 2019 и 2021 гг. (20,3 и 13,9 тыс. т/сут соответственно). Максимальный сток сульфатов за весь период гидрохимического мониторинга на р. Амур у Хабаровска отмечался во время исторического наводнения в 2013 г. (1800 тыс. т). Второй по величине сток (1543 тыс. т) наблюдался в 2020 г. в период менее продолжительного наводка.

Ключевые слова: Амур, наводнение, сульфаты, содержание, сток.

V.P. SHESTERKIN, N.M. SHESTERKINAInstitute of Water and Environmental Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
680000, Khabarovsk, ul. Dikopoltseva, 56, Russia, shesterkin@ivep.as.khb.ru, shesterkina@ivep.as.khb.ru**SULFATE CONTENT AND RUNOFF IN THE MIDDLE AMUR WATER
IN HIGH-WATER YEARS**

The article presents an assessment of the sulfate content and runoff in the Amur River water near Khabarovsk in high-water years. It shows differences in the content and runoff values depending on the center of flood formation on the basis of Roshydromet data for 1951–1985. Observations were carried out in 2013, and 2019–2021. The study revealed spatial heterogeneity in the distribution of sulfate content across the Amur River width due to large differences in the chemical composition of the waters of its main tributaries (the Zeya, Bureya, Sungari and Ussuri Rivers) and their contribution at all stages of flood formation. The highest sulfate content was observed in the middle of the river, less frequently in the right-bank part of the Amur due to the influence of the Sungari River, which drains the most developed and densely populated part of the basin; the lowest sulfate content was recorded in the left-bank part of the Amur due to the influence of the regulated Zeya and Bureya Rivers. It was found that at the recession of floods, the sulfate ion content reached its highest values as a result of the inputs from flooded agricultural lands and urbanized areas of China. At the flood peak, the maximum sulfate runoff was observed in 2013 and 2020 (29,5 and 30,4 thousand tons/day, respectively), significantly lower values were noted in 2019 and 2021 (20,3 and 13,9 thousand tons/day, respectively). The maximum sulfate runoff for the entire period of hydrochemical monitoring on the Amur River near Khabarovsk was observed during the historical flood in 2013 (1800 thousand tons). The second largest runoff (1543 thousand tons) was observed during a less prolonged flood in 2020.

Keywords: Amur, flood, sulfates, content, runoff.

ВВЕДЕНИЕ

Сульфатные ионы относятся к веществам, лимитирующим качество поверхностных вод, поступают в водные объекты в результате химического выветривания и растворения содержащих серу пород, отмирания и окисления водных и наземных веществ животного и растительного генезиса. На

сток сульфатов влияют сточные воды промышленных и жилищно-коммунальных предприятий. В сточных водах Хабаровского края в 1991 г. сброс сульфатов достигал 31 080 т, причем от предприятий микробиологической и целлюлозно-бумажной промышленности поступало 5540 и 17 290 т соответственно [1].

Наблюдения за содержанием сульфатов в водах Амура у Хабаровска с 1943 г. проводит Росгидромет. Анализ этих данных позволил определить диапазон колебаний концентраций этого вещества за периоды 1985–1999, 2000–2004 и 2005–2009 гг. [2], а также оценить сток сульфатов за 1943, 1944 и 1949 гг. (871 тыс. т) [3]. Влияние водного стока на содержание и сток сульфатов, в том числе в многоводные годы, отдельно не изучалось.

Формирование наводнений обусловлено влиянием в июле–сентябре восточноазиатских муссонов, сопровождающихся обильными осадками на значительной части бассейна Амура. Помимо циклонической деятельности их возникновению способствуют горный рельеф и незначительная высота берегов на среднем Амуре, густая речная сеть, наличие суглинистых грунтов на юге и мерзлоты на севере.

Отмечается чередование высокой водности Амура с интервалом в пределах 10–18 лет [4]. В районе Хабаровска наводнения наблюдаются раз в 1,5–2 года. Во время обычных наводнений при уровне 400 см вода затопливает луга, во время сильных (500 см) — поля, очень сильных (590 см) — города и села [5].

Многоводные годы наиболее часто отмечались в середине и конце 1950-х гг. (см. таблицу). После длительного перерыва сильные и очень сильные наводнения наблюдались в 1981, 1984 и 1985 гг. В 1998 г. сильное наводнение редкой повторяемости (раз в 150 лет), сформированное в бассейне р. Сунгари, вызвало затопление 778 городов, 6485 деревень и 4560 тыс. га сельхозугодий в Китае [6].

В 2013 г. уровень воды р. Амур у Хабаровска превысил исторический максимум за весь период наблюдений, вероятность появления такого паводка оценивалась как один раз в 200–250 лет [7]. Позже сильные наводнения повторились в 2019–2021 гг. (см. таблицу).

В современных условиях в бассейне Амура реализуются масштабные проекты в гидроэнергетике, значительные экономические преобразования осуществляются преимущественно в его китайской части, в то время как в российской закрылись Амурский целлюлозно-картонный комбинат, Лесозаводский гидролизный, Хорский гидролизный и биохимические заводы. Данная ситуация не могла не повлиять на химический состав амурской воды, что определило необходимость изучения динамики содержания и стока сульфатов в многоводные годы.

Максимальные и средние расходы воды р. Амур у Хабаровска в мае–октябре в многоводные годы (1951–2021 гг.)

Дата	Максимальный		Средний расход воды за май–октябрь, м ³ /с
	уровень воды, см	расход воды, м ³ /с	
21.09.1951	634	28 900	16 400
07.08.1953	604	26 200	18 700
13.08.1955	512	23 200	19 100
27.09.1956	600	34 200	22 500
20.09.1957	614	35 500	19 300
08.08.1958	526	30 100	17 900
20.09.1959	634	38 900	18 800
11.09.1960	589	34 300	22 200
06.08.1961	517	26 400	17 900
16.08.1972	570	32 900	16 600
05.09.1981	547	31 000	17 300
02.09.1984	623	32 900	17 500
05.09.1985	550	28 600	17 000
04.09.1998	526	31 100	12 100
03.09.2013	808	46 100	24 000
30.08.2019	642	35 600	18 800
20.09.2020	628	35 900	18 500
21.08.2021	607	34 300	–

Примечание. Прочерк — нет данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдения проводились в августе–октябре 2013, 2019–2020 гг., мае–октябре 2021 г. на р. Амур у Хабаровска на 5–6 равномерно распределенных по ширине реки вертикалях. Пробы воды брали с поверхности. Содержание сульфат-иона определяли в Центре коллективного пользования Института водных и экологических проблем ДВО РАН по [8]. В работе использовали опубликованные и приобретенные в Росгидромете данные по водному стоку.

Анализ материалов Росгидромета за 1951–1985 гг. (см. таблицу), когда наблюдения на р. Амур у Хабаровска осуществлялись на середине русла реки, свидетельствует о наибольшей концентрации сульфатов в воде (5,3–7,3 мг/л) на пике, иногда на спаде паводков, которые формировались преимущественно на верхнем Амуре и в бассейне р. Сунгари. Поэтому естественно, что их сток на пике таких паводков был максимальным (до 22,5 тыс. т/сут). Более низкое содержание (4,8–6,6 мг/л) и сток (13,6–18,5 тыс. т/сут) отмечались на пике наводнений, сформированных в основном в бассейнах рек Зеи и Буреи [9].

В 1998 г. содержание сульфатов на середине и в левобережной части Амура у с. Петровского (122 км выше Хабаровска) в конце августа составляло 3,0 и 4,7 мг/дм³ соответственно. В районе Хабаровска на пике паводка в начале сентября концентрация на середине реки сохранялась на уровне 3,0 мг/л, в конце паводка повышалась до 8,7 мг/л [9]. Сток сульфатов на пике паводка составил 8,1 тыс. т/сут.

В 2013 г. историческое наводнение начало формироваться на верхнем и среднем Амуре в условиях насыщения почв влагой поздней весной и интенсивных ливневых дождей, обусловивших повышение уровня воды в реках. Особенностью этого паводка являлось последовательное участие в его формировании паводковых вод основных притоков Амура (Зеи, Буреи, Сунгари, Уссури), многочисленных средних и малых рек, а также наложение их паводков при смещении вниз по течению основной волны амурского паводка [7].

Наводнение на Амуре началось на фоне высокой водности, отмечаемой на реке в мае и высокой межени при уровне 245 см, по данным гидропоста в Хабаровске (рис. 1). Дополнительному подъему воды в районе города способствовала железнодорожная насыпь Транссибирской магистрали [4]. Пойма Амура при уровне 300 см в течение мая–октября (167 дней) была полностью затоплена.

Содержание сульфатов в амурской воде в период наводнения варьировало в больших пределах (3,7–12,4 мг/л), по ширине реки наибольшее значение, обусловленное влиянием р. Сунгари, дренирующей правобережную, наиболее освоенную и густо населенную часть бассейна, отмечалось на середине Амура (рис. 2), а наименьшее, вследствие влияния ультрапресных вод зарегулированных рек Зеи и Буреи, — в левобережной его части [10]. На пике наводнения сток сульфатов достигал 29,5 тыс. т/сут, был максимальным среди ранее наблюдавшихся. Такая гидрохимическая структура Амура у Хабаров-

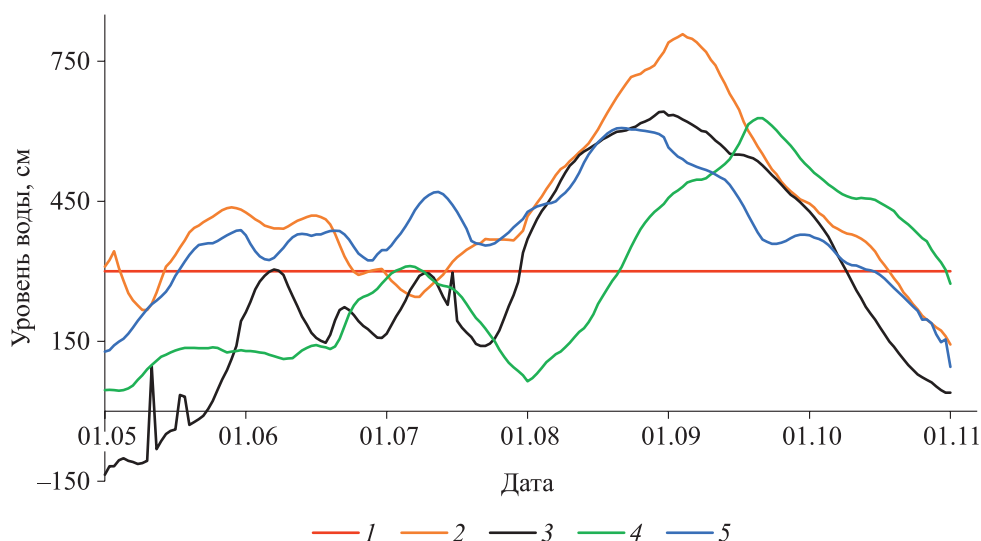


Рис. 1. Уровень воды р. Амур у Хабаровска в паводки в 2013, 2019–2021 гг.

1 — пойма. Годы: 2 — 2013, 3 — 2019, 4 — 2020, 5 — 2021.

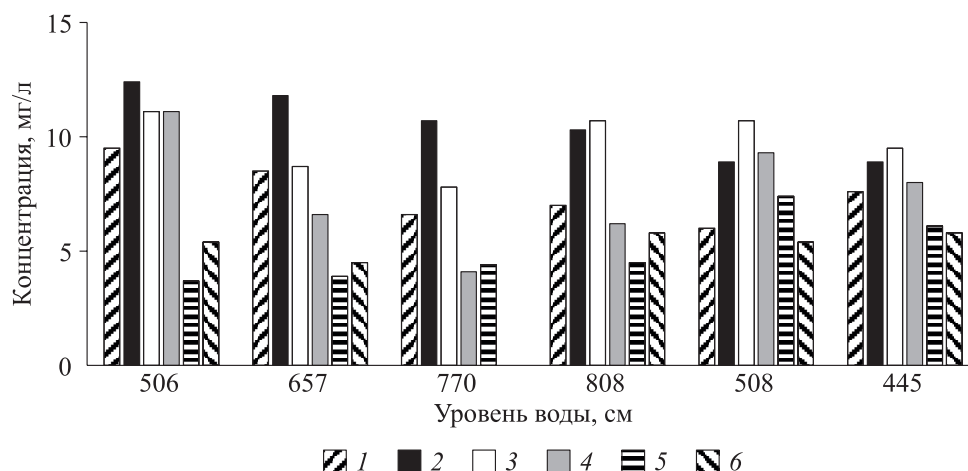


Рис. 2. Распределение концентрации сульфатов в воде р. Амур от правого до левого берега у Хабаровска при разных уровнях воды в 2013 г.

Расстояние от правого берега, м: 1 — 350, 2 — 500, 3 — 700, 4 — 900, 5 — 1100, 6 — 1300.

ска сохранялась в течение всего наводнения. Сток сульфатов в августе составил 700 тыс. т, немного выше был в сентябре — 713 тыс. т. В октябре на спаде паводка содержание этого вещества изменялось в пределах 5,8–9,7 мг/л, сток составил 387 тыс. т. Внушительным был и общий сток этого вещества за весь период наводнения.

В 2019 г. паводок начал формироваться в результате влияния фронтальных разделов и тайфуна «Данас» в конце июля, вызвавших очень сильные дожди в Приамурье. В отличие от исторического наводнения, этот паводок начался при более низкой и поздней межени (см. рис. 1), отличался значительно меньшей длительностью затопления поймы (71 день). Высокой водности Амура и, соответственно, высокому уровню воды (второму в истории по значению) (см. таблицу) способствовали также повышенные расходы воды р. Буреи, достигающие в среднем 2400 м³/с (максимум 5200 м³/с) [11]. В августе большое влияние на сток Амура оказали выходы тайфунов «Лекима» и «Кроса», а также увеличившиеся в среднем до 3300 м³/с расходы воды р. Буреи. Концентрации сульфатов по ширине р. Амур в это время варьировали в больших пределах (2,4–9,8 мг/л). Распределение по ширине реки было крайне неоднородным (рис. 3): за счет влияния р. Сунгари наибольшее содержание сульфатов на подъеме паводка отмечалось на середине Амура, на пике и спаде — на расстоянии

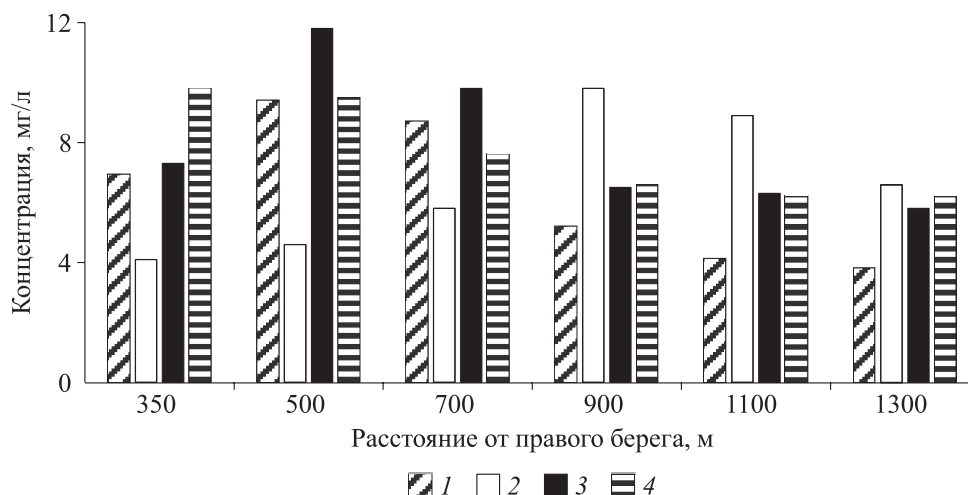


Рис. 3. Распределение концентрации сульфатов в воде р. Амур от правого до левого берега у Хабаровска при разных уровнях воды в 2019 г.

Уровень воды, см: 1 — 557, 2 — 621, 3 — 572, 4 — 416.

900–1100 и 350–500 м от правого берега. Сток сульфатов на пике паводка достигал 20,3 тыс. т/сут, 500 тыс. т в августе и 614 тыс. т в сентябре, т. е. был существенно ниже, чем в 2013 г.

В 2020 г. паводок стал формироваться в середине августа (см. рис. 1) в результате активных фронтальных разделов, обусловивших на реках Приамурья повышение уровней воды. Большое влияние на сток Амура, как и в 2019 г., оказала р. Бурей, расходы воды которой в среднем составляли 2500 м³/с (максимум 5900 м³/с) [12]. Наводнение характеризовалось очень низкой меженью (64 см) в начале августа и более поздним прохождением пика паводка (20–21 сентября). Так же, как и в 2019 г., пойма оставалась под водой непродолжительное время (77 дней).

В конце августа при уровне воды 450 см содержание сульфатов по ширине реки изменялось в узких пределах (4,1–7,4 мг/л), в среднем составляло 6,0 мг/л и было наименьшим за паводки. Низкие значения за счет влияния р. Уссури отмечались в правобережной части Амура, а наибольшие, как и в предыдущие паводки из-за влияния р. Сунгари, – на середине Амура. Влияние Зеи и Буреи в это время было менее заметно.

В сентябре 2020 г. Еврейская автономная область (ЕАО), южные и часть центральных районов Хабаровского края оказались под влиянием тайфунов «Бави», «Майсак» и «Хайшен», вызвавших затопление поймы Амура на глубину 1,5–3,3 м. При уровне воды 540 см концентрации сульфатов на подъеме паводка изменялись в пределах 4,0–11,7 мг/л, в среднем составляли 6,8 мг/л, причем на середине Амура значения были выше, чем в паводки 2013 и 2019 гг. (рис. 4). Сток сульфатов в сентябре достигал 658 тыс. т, на пике паводка – 30,4 тыс. т/сут, т. е. был выше, чем в 2013 г. Более длительное, чем в 2013 и 2019 гг., снижение уровня воды Амура (см. рис. 1) за счет выхода западного циклона и влияния фронтальных разделов на большей части Хабаровского края и ЕАО обусловило повышенное содержание сульфатов в амурской воде – 5,9–14,4 мг/л в конце сентября и 7,5–12,9 мг/л в середине октября при средних значениях 9,8 и 9,5 мг/л соответственно [11]. Сток сульфатов за август–октябрь составил 1543 тыс. т.

В 2021 г. очень сильное наводнение (см. рис. 1) сформировалось в результате прохождения сдвигающегося с верхнего Амура паводка в конце первой – начале второй декады июля и воздействия активных атмосферных фронтов, вызвавших сильные и очень сильные дожди. Большое влияние на повышение водности оказали зарегулированные реки Зея и Бурей, суммарный сток которых в августе составил в среднем 7900 м³/с. Сложная гидрологическая обстановка наблюдалась и в бассейне р. Сунгари, где из-за обильных осадков критический уровень крупных рек был превышен. Поэтому пойма Амура, так же как в 2013 г., длительный период (156 дней, с мая по октябрь) была затопленной.

Концентрация сульфатов на подъеме паводка в середине июля варьировала в широких пределах (3,7–8,2 мг/л), наименьшие значения отмечались в основном для левобережной части. Сток сульфатов в это время составлял 331,2 тыс. т. На гребне паводка в августе при уровне воды 576 см концентрации сульфатов снизились до 2,2–7,1 мг/л, среднее значение 4,7 мг/л было наименьшим среди значений, зафиксированных во время ранее рассмотренных паводков. Поэтому сток сульфатов (13,9 тыс. т/сут) на пике паводка был самым низким и, вероятно, был обусловлен значительным вкладом в сток Амура

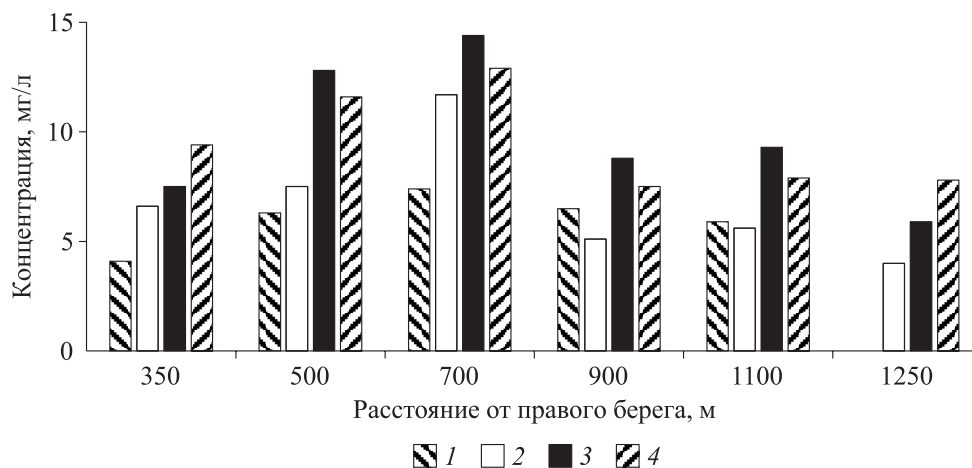


Рис. 4. Распределение концентрации сульфатов в воде р. Амур от правого до левого берега у Хабаровска при разных уровнях воды в 2020 г.

Уровень воды, см: 1 – 450, 2 – 540, 3 – 531, 4 – 416.

слабоминерализованных вод зарегулированных рек Зеи и Буреи. В августе сток составлял 379 тыс. т и незначительно отличался от стока в июле. Наибольшие концентрации SO_4^{2-} (6,3–10,8 мг/л) отмечались в конце паводка вследствие поступления с затопленных сельхозугодий. Поэтому даже в условиях значительного снижения водности Амура сток сульфатов (360 тыс. т) в это время мало отличался от его стока в августе. Естественно, что и общий сток сульфатов был ниже, чем в многоводные 2019 и 2020 гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В многоводные годы содержание сульфатов в воде среднего Амура в районе Хабаровска изменяется в больших пределах вследствие значительных различий в химическом составе вод основных его притоков (рек Зеи, Буреи, Сунгари и Уссури) и их вклада на всех этапах формирования паводка.

По ширине Амура максимум содержания сульфатов (из-за влияния р. Сунгари) наблюдается на середине Амура, иногда в правобережной части; минимум содержания (из-за влияния Зеи и Буреи) — в левобережной части. Во время формирования наводнений наибольшая концентрация сульфатов отмечается на спаде паводков за счет поступления с затопленных сельхозугодий.

Максимальный сток сульфатов на пике наводнений наблюдался в 2013 и 2020 гг. (29,5 и 30,4 тыс. т/сут соответственно). Наибольший сток сульфатов отмечался во время паводка 2013 г. (1800 тыс. т). Второй по величине сток сульфатов (1543 тыс. т) был во время менее продолжительного паводка в 2020 г.

Работа выполнена в рамках государственного задания (121021500060–4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Состояние** природной среды и природоохранная деятельность в Хабаровском крае в 1992 году: Доклад комитета экологии и природных ресурсов Хабаровского края / под ред. А.А. Коленченко. — Хабаровск, 1993. — 174 с.
2. **Никаноров А.М., Брызгалов В.А.** Реки России. Ч. 4: Реки Дальнего Востока (гидрохимия и гидроэкология). — Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2011. — 324 с.
3. **Алекин О.А., Бражникова А.В.** Сток растворенных веществ с территории СССР. — М.: Наука, 1964. — 143 с.
4. **Махинов А.Н., Лю Ш., Ким В.И., Махинова А.Ф.** Особенности больших наводнений на реке Амур в период высокой водности 2009–2021 гг. // Тихоокеан. география. — 2023. — № 1. — С. 66–74. — DOI: 10.35735/26870509_2023_13_6
5. **Бойкова К.Г.** Наводнения на реках Амурского бассейна // Вопросы географии Дальнего Востока. — Хабаровск: Хабар. кн. изд-во, 1963. — Сб. 5. — С. 192–259.
6. **Li X., Zhang W.** The flood of the Nenjiang river and of the river basis // Chinese Geographical Science. — 1999. — Vol. 9, N 3. — P. 103–198.
7. **Фролов А.В., Георгиевский В.Ю.** Экстремальные паводки в бассейне р. Амур: причины, прогнозы, рекомендации: Сб. докл. — М.: Росгидромет, 2014. — С. 5–39.
8. **РД 52.24.405–2005.** Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений турбидиметрическим методом [Электронный ресурс]. — <https://docs.cntd.ru/document/1200042651> (дата обращения 23.04.2025).
9. **Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М.** Максимальный ионный сток Среднего Амура // Биогеохимические и геоэкологические исследования наземных и пресноводных экосистем. — Владивосток: Дальнаука, 2002. — С. 105–115.
10. **Shesterkin V.P.** Variations of Amur Water Chemistry during the Historical 2013 Flood // Water Resources. — 2016. — Vol. 43, N 3. — P. 495–503. — DOI: 10.1134/S0097807816030155
11. **Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М.** Влияние крупных наводнений в районе Хабаровска 2018–2019 гг. на гидрохимическую структуру вод Амура // Метеорология и гидрология. — 2020. — № 11. — С. 92–99.
12. **Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М.** Гидрохимические особенности вод реки Амур у города Хабаровска в период сильного наводнения 2020 года // Водное хозяйство России. — 2022. — № 1. — С. 97–110. — DOI: 10.35567/19994508_2022_1_7

Поступила в редакцию 06.08.2024

После доработки 07.02.2025

Принята к публикации 21.05.2025