



УДК 551.435.126(282.256.341)  
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.43.79>

## Сток наносов притоков озера Байкал: изменения и тенденции

Т. Г. Потемкина, В. Л. Потемкин\*

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Со второй половины 1970-х гг. на впадающих в Байкал реках отмечается нисходящая тенденция стока наносов на фоне глобального потепления климата и разнонаправленной деятельности в бассейнах рек человека. Комплексный анализ гидролого-климатических параметров и их тенденций был выполнен за периоды 1941–1975 гг. (базовый) и 1976–2020 гг. (потепление). Установлено, что изменения в природных процессах и деятельности человека были незначительными в течение базового периода, в 1976–2020 гг. сток наносов притоков сократился на 53–80 % и в его режиме произошли изменения, которые проявились в снижении показателей среднего и максимального его состояния. Определено наибольшее снижение стока наносов в последние десятилетия периода потепления, значения стока в которые меньше среднего значения за весь период наблюдений в 1,5–3 раза и в 3–5 раз в сравнении с базовым периодом. Результаты исследований важны для изучения процессов, связанных с литодинамикой, седиментологией, биогеохимией, экологией в системе «реки – озеро Байкал», и способствуют эффективной организации охраны и рационального управления водными ресурсами озера.

**Ключевые слова:** притоки, сток наносов, тенденции, озеро Байкал.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках Государственной темы Лимнологического института СО РАН № 0279-2021-0005.

**Для цитирования:** Потемкина Т. Г., Потемкин В. Л. Сток наносов притоков озера Байкал: изменения и тенденции // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2023. Т. 43. С. 79–90. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.43.79>

Original article

## Sediment Load Runoff of Lake Baikal Tributaries: Changes and Trends

T. G. Potemkina, V. L. Potemkin\*

*Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** Since the second half of the 1970s, rivers flowing into Lake Baikal have been experiencing a tendency to the sediment load reduce against the background of the global warming and various human activity in river basins. Integrated analysis of changes in hydro-meteorological parameters and their trends over the period 1941–1975 (baseline) and 1976–2020 (warming) is performed. Changes in natural processes and human activity were negligible during the baseline period. In 1976–2020, the flow of sediment load in tributaries decreased by 53–80 % and changes occurred in its regime, which manifested itself in a decrease in its average and maximum indicators. The largest decrease in sediment load runoff was established in the last decades of the warming period. The av-

© Потемкина Т. Г., Потемкин В. Л., 2023

\*Полные сведения об авторах см. на последней странице статьи.  
For complete information about the authors, see the last page of the article.

erage values of runoff in these decades are lower than the average value for the entire observation period by 1,5–3 times and by 3–5 times in comparison with the baseline period. Sediment runoff in the last decades corresponds to their modern export from tributaries to Lake Baikal and is  $713 \cdot 10^3 \text{ t y}^{-1}$  for Selenga,  $85 \cdot 10^3 \text{ t y}^{-1}$  for Upper Angara,  $44 \cdot 10^3 \text{ t y}^{-1}$  for Barguzin,  $9,4 \cdot 10^3 \text{ t y}^{-1}$  for Utulik and  $7,9 \cdot 10^3 \text{ t y}^{-1}$  for Hara-Murin. The results of the research are important for the study of processes related to lithodynamics, sedimentology, biogeochemistry, ecology in the system “Rivers – Lake Baikal” and contributes to the protection and rational management of the water resources of the lake.

**Keywords:** tributaries, sediment load runoff, trends, Lake Baikal.

---

**For citation:** Potemkina T. G., Potemkin V. L. Sediment Load Runoff of Lake Baikal Tributaries: Changes and Trends. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2023, vol. 43, pp. 79–90. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.43.79> (in Russian)

---

## Введение

Озеро Байкал является природным объектом Всемирного наследия UNESCO в знак признания его уникальной природы, биоразнообразия и эндемизма. Однако в настоящее время в мелководной зоне озера выявлены локальные (около населенных пунктов, в некоторых бухтах, устьях у некоторых рек) негативные экологические процессы: быстрый рост цианобактерий, которые продуцируют опасные для жизни человека токсины; быстрое зарастание прибрежных мелководий нитчатыми водорослями, заболевание эндемичной байкальской губки – естественного фильтра озерной воды; загрязнение прибрежных вод и т. д. [Nearshore benthic blooms ... , 2014; Rapid ecological change ... , 2016]. Эти негативные процессы связаны как с деятельностью человека, так и с изменением климата [Potemkina, Potemkin, Fedotov, 2018]. Поэтому в настоящее время особое внимание уделяется экологическому состоянию прибрежной зоны и самого оз. Байкал. Очевидно, что большой вклад в состояние прибрежных зон вносят притоки Байкала, которые снабжают озеро водой и наносами, питательными веществами, различными загрязнениями. Таким образом, речные потоки влияют на прибрежную систему Байкала, ее эволюцию и здоровье водной экосистемы озера в целом.

Поскольку речные наносы способны накапливать и переносить различные вещества в озеро, изменения в стоке речных наносов и их поступлений в водоемы стали важной темой во всем мире [Dai, Yang, Li, 2009; Recent changes of ... , 2011; Sediment loads response ... , 2013; Quantifying the anthropogenic ... , 2015; Timpe, Kaplan, 2017; Observed trends of ... , 2018; Chalov, Millionshchikova, Moreido, 2018; Potemkina, Sutyryna, Potemkin, 2019; и др]. Преимущественно сток наносов в реках уменьшается, и, как следствие, их приток в водоемы сокращается. Такая ситуация наблюдается и на притоках оз. Байкал. Изучение современных изменений и тенденций в природных процессах, включая сток наносов рек озера, актуально и способствует сохранению природы крупнейшего в мире оз. Байкал, содержащего 20 % мировых запасов пресной воды.

Представленное исследование нацелено: 1) на выяснение изменений в стоке наносов и определении их периодов в условиях потепления климата и деятельности человека; 2) оценку фактического поступления наносов из рассматриваемых рек в озеро. Результаты исследований важны для изучения процессов, связанных с гидрологией, геоморфологией, биогеохимией, седиментологией, экологией в системе «реки – оз. Байкал».

### Материалы и методы исследования

Бассейн Байкала имеет хорошо развитую речную сеть. Непосредственно в озеро впадает более 300 рек, и лишь на пяти из них проводятся длительные режимные наблюдения за стоком наносов: Селенге, Верхней Ангаре, Баргузине, Утулике и Хара-Мурине (рис. 1). В таблице представлены среднеголетние значения стока наносов и воды рек Селенги, Верхней Ангары, Баргузин, выявленные авторами за период наблюдений 1946–2020 гг., р. Утулик – за 1941–2020 гг., р. Хара-Мурин – за 1971–2020 гг. Притоки Байкала ежегодно приносят в озеро около 60 км<sup>3</sup> воды, более половины этого объема поставляют рассматриваемые реки (табл.). Указанные реки являются основными поставщиками речных наносов.

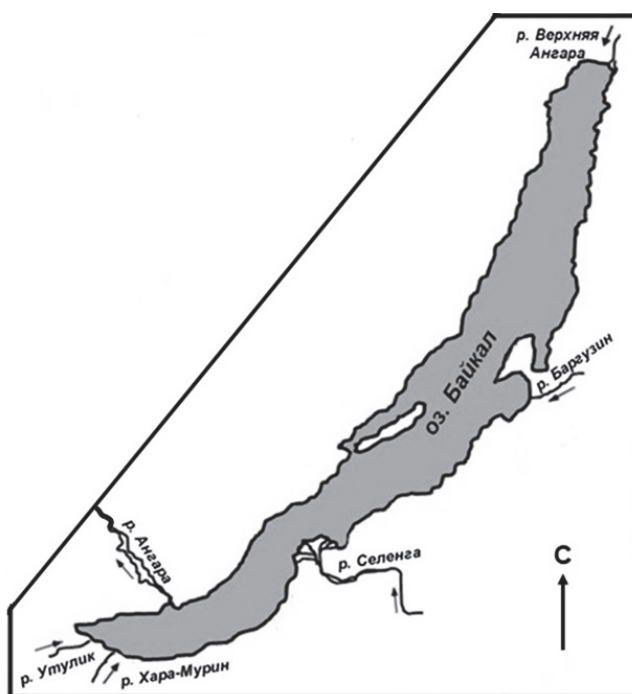


Рис. 1. Схема расположения рек

Таблица

Основные характеристики рек

Река	Длина реки / площадь водосбора, км/км <sup>2</sup>	Средний многолетний сток воды / наносов, км <sup>3</sup> год <sup>-1</sup> / 10 <sup>3</sup> т год <sup>-1</sup>
Селенга	1024/447 060	27,3/1486
Верхняя Ангара	438/21 400	8,54/235
Баргузин	480/21 100	3,80/93
Утулик	86/965	0,52/26
Хара-Мурин	86/1150	0,71/12

Водосборы рассматриваемых притоков занимают более 90 % площади бассейна Байкала (545 тыс. км<sup>2</sup> без площади акватории озера). Соотношение площади акватории (31,5 тыс. км<sup>2</sup>) к площади водосбора Байкала составляет 1:17, что свидетельствует о существенной роли суши в питании озера, а интегральным показателем в этом процессе является речной сток. Многолетние данные о стоке наносов изучаемых притоков, таким образом, характеризуют происходящие изменения почти на всей территории водосбора оз. Байкал.

Природные условия в водосборных бассейнах изучаемых рек имеют отличия. Водосборы рек Верхней Ангары и Баргузин обрамлены горами и имеют умеренную влажность. Бассейн Селенги простирается далеко в южном направлении и включает районы, испытывающие дефицит влаги (лесостепь, степь, пустыня). Основные источники питания Селенги и Баргузина – дождевые и талые воды с примерно равным вкладом. Преимущественным источником питания Верхней Ангары служат талые воды. Реки Утулик и Хара-Мурин относятся к малым горным рекам, имеют небольшую длину и площадь водосборов и вносят свой вклад в приток веществ в озеро. Территория их водосборов расположена в основном в горно-таежной зоне. Питание рек снежно-дождевое с преобладанием дождевого стока (60–65 % годового объема) [Ресурсы поверхностных вод ... , 1973]. Для малых горных притоков Байкала велико влияние случайных и катастрофических явлений (ливней, селей) на межгодовую динамику наносов, которые в несколько раз могут увеличивать среднегодовые расходы наносов и, следовательно, вынос обломочного материала в озеро. Основными общими характеристиками природных условий в бассейнах рассматриваемых притоков озера являются резко континентальный климат и наличие вечной мерзлоты. Однако на климат побережья, где расположены реки Утулик и Хара-Мурин, оказывает влияние водная масса озера. Зимы здесь бывают мягче, а лето прохладнее. Наступление весны задерживается на несколько дней по сравнению с прилегающими районами, а осень часто бывает продолжительней.

Проводилось изучение современных изменений и тенденций в стоке наносов рассматриваемых рек в условиях изменения климата и антропогенного влияния. Материалами для этих исследований послужили многолетние режимные наблюдения за основными гидрометеорологическими параметрами (сток воды и наносов, температура воздуха и атмосферные осадки). Для рек Селенги, Верхней Ангары, Баргузин анализировались данные за 1946–2020 гг., Утулик – за 1941–2020 гг., Хара-Мурин – за 1971–2020 гг.

Для изучения тенденций в гидрометеорологических параметрах, установления взаимосвязей между ними, оценки различий применялись статистические методы: анализ трендов, парная корреляция, коэффициенты корреляции, непараметрический тест Манна и Кендалла (M – K), ранговая статистика M–K-теста, метод аномалий, статистическая диаграмма «ящик с усами», U-критерий Манна – Уитни.

Анализ трендов гидрометеорологических параметров позволил определить тип тренда (тренд уменьшения, увеличения или его отсутствие). Для изучения взаимосвязей между параметрами использовался метод парной

корреляции и определялись коэффициенты корреляции (К). Непараметрический тест М – К, широко используемый в гидрологических и метеорологических исследованиях, применялся для оценки тренда во временных рядах и определения значимости тренда, который считается значимым при уровне  $p < 0,05$ . Кроме того, ранговая статистика теста М – К и метод аномалий позволили обнаружить начало изменений (приблизительный год начала изменений) в гидрометеорологических параметрах. Для сравнения рядов гидрологических параметров за период до начала изменений и за последующий период и определения различий между ними применялась статистическая диаграмма, называемая «ящик с усами» или «коробчатая диаграмма», которая наглядно отображает основные характеристики. Статистический  $U$ -критерий Манна – Уитни использовался для подтверждения достоверности различий или их отсутствия в параметрах этих периодов.

### Результаты и обсуждение

Сток речных наносов в бассейне оз. Байкал определяется как рядом природных факторов (рельеф, прочность и состав горных пород, тип почв и растительности, физико-химическое выветривание, климатические условия, землетрясения и др.), так и антропогенной деятельностью. Со второй половины 1970-х гг. на впадающих в Байкал реках отмечается нисходящая тенденция стока наносов на фоне глобального потепления климата и его влияния на природные процессы региона, а также разнонаправленной в бассейнах рассматриваемых притоков деятельности человека [Potemkina, Sutyryna, Potemkin, 2019].

Ранговая статистика М – К и метод аномалий позволили определить начало изменений в многолетнем ходе стока наносов и интервалы его изменений в течение периода потепления, тем самым уточнить фактическое поступление наносов в оз. Байкал. Статистические методы показали, что изменения в стоке наносов начались с 1976 г. (начало периода потепления), а наибольшее его снижение произошло в интервале 1996–2020 гг. на Селенге, в 1985–2020 гг. на Верхней Ангаре и в 1992–2020 гг. на р. Баргузин. Изменения в стоке наносов р. Утулик начались с 1976 г., р. Хара-Мурин – с 1986 г. (рис. 2). В период до начала сокращения стока наносов (базовый период) изменения природных процессов и влияние антропогенных факторов в бассейнах рек были незначительными, но во время периода потепления они заметно усилились. В течение базового периода колебания стока наносов были в целом синхронны с колебаниями стока воды, т. е. динамика наносов определялась гидроклиматическими факторами. В период потепления эта синхронизация была нарушена. Однако на малых горных реках Утулик и Хара-Мурин корреляционная связь между стоком наносов и воды очень слабая. Вполне вероятно, что на межгодовую динамику наносов этих рек существенное влияние оказывают случайные катастрофические явления (ливни, сели), о чем свидетельствует неоднородность рядов наблюдений, которую подтверждают коэффициенты вариации стока наносов (287 % для р. Утулик и 132 % для р. Хара-Мурин).

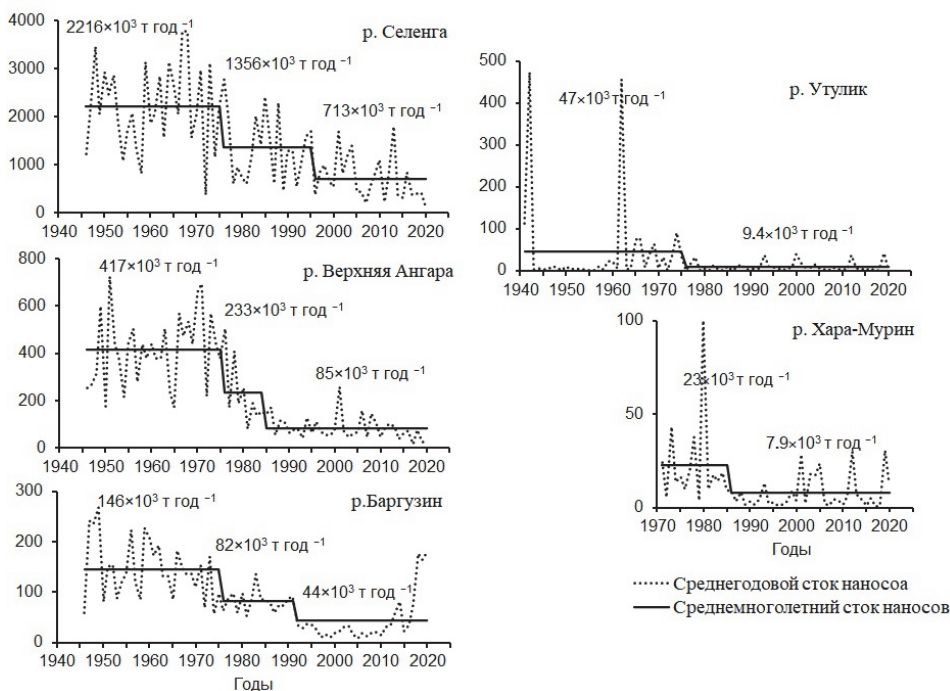


Рис. 2. Тенденции стока наносов притоков оз. Байкал

Анализ гидрологических параметров изучаемых рек и метеорологических параметров в их бассейнах показал следующие общие результаты.

Глобальное потепление климата, отчетливо проявившееся в середине 1970-х гг., привело к росту средних годовых аномалий температуры воздуха за 1976–2021 гг. на  $+0,76\text{ }^{\circ}\text{C}$  для земного шара, на  $+1,28\text{ }^{\circ}\text{C}$  – для Северного полушария и на  $+1,57\text{ }^{\circ}\text{C}$  – для Прибайкалья и Забайкалья [Изменения климата ... , 2021]. Согласно тесту М – К в период потепления (1976–2020 гг.) в бассейнах всех рассматриваемых притоков наблюдались статистически значимые тренды ( $p < 0,05$ ) повышения температуры воздуха. Среднее повышение температуры составило  $+1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Небольшое уменьшение (2–9 %) в среднегодовом количестве осадков за период потепления наблюдалось в бассейнах крупных рек Селенги, Верхней Ангары, Баргузин, но статистически значимый тренд в годовом количестве осадков согласно уравнению линейной регрессии и тесту М – К установлен только для бассейна Селенги. На малых горных реках Утулик и Хара-Мурин атмосферные осадки за весь период наблюдений и за период потепления были относительно стабильными и не имели статистически значимых трендов.

В этот период на фоне повышения температуры и уменьшения или стабильности атмосферных осадков сток воды слегка сократился (3–12 %) на реках Селенге, Баргузин, Утулик и Хара-Мурин, а на Верхней Ангаре слегка увеличился (+4 %). Статистически значимых трендов в динамике среднегодового стока воды не выявлено, как свидетельствует тест М – К. В то же

время сток наносов на рассматриваемых реках сократился существенно (53–80 %). Согласно тесту М – К тенденции снижения стока наносов на реках определены как статистически значимые.

Поскольку в период потепления не установлено прямых линейных связей между температурой воздуха и стоком воды и наносов, то становится очевидным, что ее влияние на гидрологические параметры имеет сложный многофакторный характер и реализуется через такие факторы, как, например, деградация вечной мерзлоты, уменьшение промерзания горных пород и ослабление морозного выветривания, изменение границ распространения растительности в горных районах, увеличение испарения и др. [Evolution of the hydro-climate ... , 2015; Potemkina, Sutygina, Potemkin, 2019]. Так, в течение последних десятилетий в различных регионах мира в условиях потепления климата и деградации вечной мерзлоты происходит смещение вверх (30–60 м) альпийских пределов распространения древесной растительности. Подъем вверх границы лесных сообществ отмечен и в соседней с Байкалом Алтае-Саянской горной стране [Моисеев, Шиятов, Дэви, 2010]. В горных районах Байкала, вероятно, происходят аналогичные процессы, вследствие которых уменьшается площадь зоны гольцов, являющихся источником обломочного материала для формирования стока речных наносов. Распространение в этой зоне растительности снижает подготовку обломочного материала и препятствует его перемещению, тем самым создаются условия для уменьшения стока наносов рек. Таким образом, можно полагать, что это опосредованное влияние деградации многолетней мерзлоты на сток наносов. К тому же с повышением температуры воздуха и деградацией мерзлоты ослабевают процессы промерзания горных пород и их морозного выветривания, что также снижает подготовку обломочного материала в зоне гольцов. Увеличение стока воды на Верхней Ангаре, возможно, связано именно с деградацией многолетней мерзлоты. В бассейнах остальных рек с повышением температуры воздуха увеличивается интенсивность испарения и дефицит увлажненности, что ухудшает водный баланс территорий и в итоге влияет на сток воды [Evolution of the hydro-climate ... , 2015; Observed trends of climate ... , 2018].

Итак, в условиях потепления климата изменения в региональных процессах повлияли на режим стока наносов впадающих в Байкал рек. Однако коррективы в природные условия и процессы внесли антропогенные факторы (изменение в землепользовании, добыча полезных ископаемых, строительство дорог, развитие индустрии туризма и отдыха, потребление воды и др.), эффект которых в бассейнах изучаемых рек проявился по-разному. Следует отметить, что бассейны рек Утулик и Хара-Мурин, отличающиеся небольшой площадью и расположенные главным образом в горно-таежном поясе, не подвергаются активному антропогенному воздействию, способному влиять на сток речных наносов. Вследствие этого доминирующее значение в тенденции снижения стока наносов на этих реках принадлежит природным условиям и процессам. Таким образом, природные процессы и социально-экономические мероприятия в бассейнах изучаемых притоков стали причиной сокращения стока наносов и установления другого его режима,

что подтверждено диаграммой «ящик с усами» (рис. 3). Отлично видно, что в период потепления режим стока наносов заметно изменился. Рассчитанный  $U$ -критерий Манна – Уитни при уровне значимости  $p \leq 0,05$  подтверждает, что различия между двумя рядами стока наносов (базовый период и период потепления) находятся в зоне значимости, т. е. различия между рядами достоверны. Очевидны заметные изменения в среднем и максимальном состоянии режима стока наносов рек в период потепления.

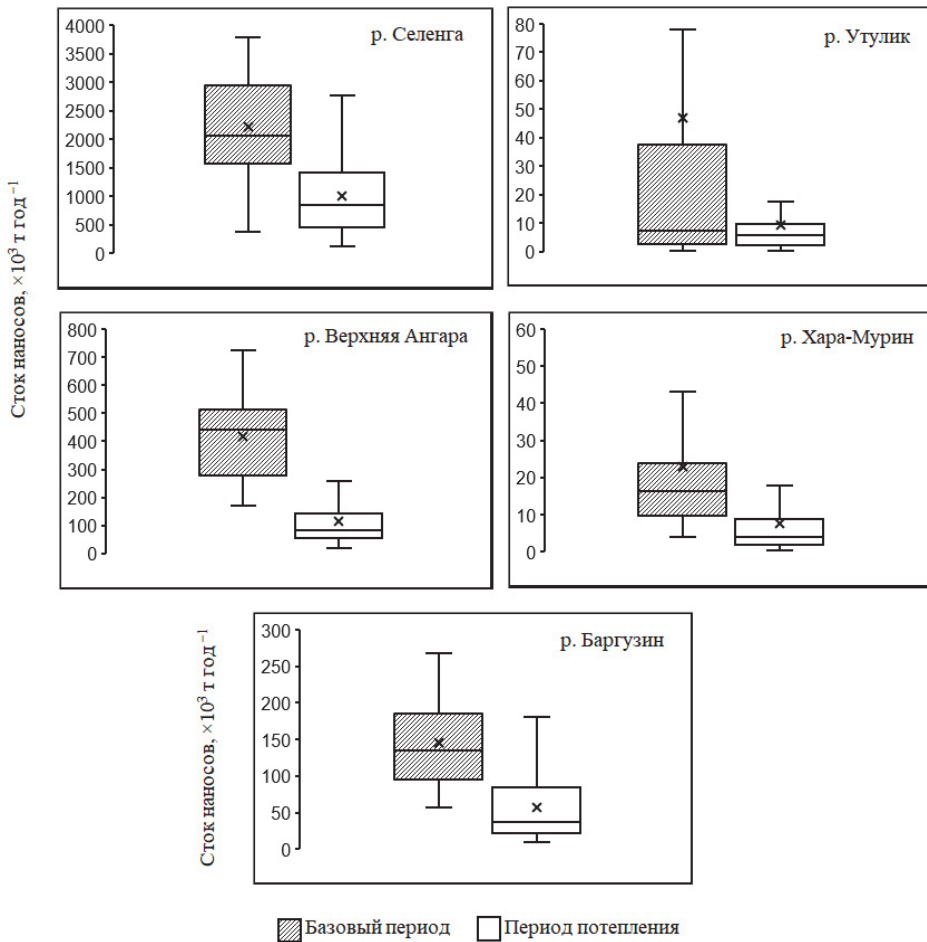


Рис. 3. Статистическая диаграмма основных характеристик среднегодового стока наносов рек за два периода

Результаты исследования позволили оценить современный поток наносов из рассматриваемых притоков в оз. Байкал. Обычно сток наносов рек характеризуется средним значением за весь период наблюдений, но, как показали наши исследования, фактический поток наносов из изучаемых притоков в озеро меньше среднего значения за период наблюдений в 1,5–3 раза, а в сравнении с базовым периодом современный поток наносов сократился в



3–5 раз. Так, наибольшее снижение стока наносов на Селенге в период потепления произошло в интервале 1996–2020 гг., и сток наносов составил  $713 \cdot 10^3$  т год<sup>-1</sup>, на Верхней Ангаре в 1985–2020 гг. сток наносов составил  $85 \cdot 10^3$ , на р. Баргузин в 1992–2020 гг. –  $44 \cdot 10^3$ . Изменения в стоке наносов на р. Утулик начались с 1976 г., и поток наносов в 1976–2020 гг. достиг  $9,4 \cdot 10^3$  т год<sup>-1</sup>, на р. Хара-Мурин в интервале 1986–2020 гг. –  $7,9 \cdot 10^3$  т год<sup>-1</sup> (см. рис. 2). Эти значения за последние десятилетия соответствуют современному состоянию потоков наносов из рассматриваемых притоков в оз. Байкал.

### Заключение

Результаты проведенных исследований показали, что со второй половины 1970-х гг. на впадающих в Байкал реках отмечается нисходящая тенденция стока наносов на фоне глобального потепления климата и разнонаправленной в бассейнах рассматриваемых рек деятельности человека.

Ведущее значение в сокращении стока наносов изучаемых рек принадлежит природным факторам (температура воздуха, атмосферные осадки, прочность и состав горных пород, их физико-химическое выветривание, деградация вечной мерзлоты, изменение границ распространения растительности в горных районах, испарение и др.), изменения в которых наступили в результате глобального потепления климата и которые посредством сложного взаимодействия повлияли на сток наносов и, следовательно, на экспорт речных наносов в оз. Байкал.

Однако социально-экономические мероприятия в бассейнах изучаемых рек (изменение в землепользовании, добыча полезных ископаемых, строительство дорог, развитие индустрии туризма и отдыха, потребление воды и др.) в период потепления вносили коррективы в природные процессы и в большей или меньшей степени способствовали сокращению стока наносов. Бассейны малых горных рек Утулик и Хара-Мурин не подвергались активному антропогенному влиянию, способствующему снижению стока наносов, а доминирующую роль в изменении стока наносов на этих реках сыграли природные условия и процессы.

Сток наносов рек в период потепления (начало с 1976 г.) сократился на 53–80 %, и в его режиме произошли изменения, которые проявились в снижении показателей среднего и максимального его состояния. Однако установлено, что наибольшее снижение стока наносов произошло на реках в последние десятилетия: на Селенге – в 1996–2020 гг., Верхней Ангаре – в 1985–2020 гг., Баргузине – в 1992–2020 гг., Утулике и Хара-Мурине – в 1976–2020 гг. и 1986–2020 гг. соответственно. Величина стока наносов за эти десятилетия меньше среднего значения за весь период наблюдений в 1,5–3 раза, а в сравнении с периодом до наступления потепления климата современный поток наносов сократился в 3–5 раз. Таким образом, значения стока наносов за последние десятилетия соответствуют современному объему экспорта наносов из притоков в оз. Байкал и определяются в следующих числах:

$713 \cdot 10^3$  т год<sup>-1</sup> для Селенги,  $85 \cdot 10^3$  – для Верхней Ангары,  $44 \cdot 10^3$  – для Баргузина,  $9,4 \cdot 10^3$  – для Утулика и  $7,9 \cdot 10^3$  – для Хара-Мурина.

Результаты исследований важны для изучения процессов, связанных с литодинамикой, геоморфологией, седиментологией, биогеохимией, экологией, и могут способствовать повышению эффективности мероприятий по сохранению природы оз. Байкал, содержащего 20 % мировых запасов пресной воды. Результаты исследования будут полезны при изучении процессов, происходящих и в других пресноводных озерах мира.

### Список литературы

Изменения климата 2021. Обзор состояния и тенденций изменения климата России. М. : Росгидромет, 2021. 44 с.

*Моисеев П. А., Шиятов С. Г., Дэви Н. М.* Программа мониторинга экотона верхней границы древесной растительности на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского экорегиона. Красноярск, 2010, 86 р.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1973. Т. 16, Вып. 3. 400 с.

*Chalov S. R., Millionshchikova T. D., Moreido V. M.* Multimodel approach to quantify future sediment and pollutant loads and ecosystem change in Selenga River System // *Water Resources*. 2018. Vol. 45, N 2. P. 22–34. <https://doi.org/10.1134/S0097807818060210>

*Dai S. B., Yang S. L., Li M.* The sharp decrease in suspended sediment supply from China's rivers to the sea: anthropogenic and natural causes // *Hydrological Sciences Journal*. 2009. Vol. 54. P. 135–146. <https://doi.org/10.1623/hysj.54.1.135>

Evolution of the hydro-climate system in the Lake Baikal basin / R. Törnqvist, J. Jarsjö, J. Pietron, A. Bring, P. Rogberg, S. Asokan, G. Destouni // *Journal of Hydrology*. 2015. Vol. 519. P. 1953–1962. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.074>

Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal / L. S. Kravtsova [et al.] // *J. Great Lakes Res*. 2014. Vol. 40, N 2. P. 441–448.

Observed trends of climate and river discharge in Mongolia's Selenga sub-basin of the Lake Baikal basin / B. Dorjsuren [et al.] // *Water*. 2018. Vol. 10, N 10. P. 1436. <https://doi.org/10.3390/w10101436>

*Potemkina T. G., Potemkin V. L., Fedotov A. P.* Climatic factors as risks of recent ecological changes in the shallow zone of Lake Baikal // *Russian Geology and Geophysics*. 2018. Vol. 59, N 5. P. 556–565. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.04.008>

*Potemkina T., Sutyryna E., Potemkin V.* Changing of the riverine sediment load supply into Lake Baikal: The natural and anthropogenic causes (Russia) // *Quaternary International*. 2019. Vol. 524. P. 57–66.

Quantifying the anthropogenic and climatic contributions to changes in water discharge and sediment load into the sea: a case study of the Yangtze River, China / Y. Zhao, X. Zou, J. Gao [et al.] // *Sci. Total Environ*. 2015. Vol. 536. P. 803–812. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.119>

Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger? / O. A. Timoshkin M. Yamamuro [et al.] // *J. Great Lakes Res*. 2016. Vol. 42, N 3. P. 487–497. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2016.02.011>

Recent changes of sediment flux to the western Pacific Ocean from major rivers in east and Southeast Asia / H. J. Wang [et al.] // *Earth-Science Reviews*. 2011. Vol. 108. P. 80–100. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.06.003>

Sediment loads response to climate change: a preliminary study of eight large Chinese rivers / X. X. Lu [et al.] // *Int. J. Sediment Res*. 2013. Vol. 28, N 1. P. 1–14. [https://doi.org/10.1016/S1001-6279\(13\)60013-X](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(13)60013-X)

*Timpe K., Kaplan D.* The changing hydrology of a dammed Amazon // *Science Advances*. 2017. N 3. e1700611. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700611>

## References

- Izmeneniya klimata 2021. Obzor sostoyaniya i tendencij izmeneniya klimata Rossii* [Climate change 2021. Overview of the state and trends of climate change in Russia]. Moscow, Rosgidromet Publ., 2021, 44 p. (in Russian)
- Moiseev P.A., Shiyatov S.G., Devi N.M. *Programma monitoringa ekotona verkhnei granitsy drevesnoi rastitel'nosti na osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriyakh Altai-Sayanskogo ekoregiona* [The program for monitoring the ecotone of the upper boundary of tree vegetation in specially protected natural areas of the Altai-Sayan Ecoregion]. Krasnoyarsk, 2010, 86 p. (in Russian)
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR* [Surface water resources of the USSR]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1973, vol. 16, iss. 3, 400 p. (in Russian)
- Chalov S.R., Millionshchikova T.D., Moreido V.M. Multimodel approach to quantify future sediment and pollutant loads and ecosystem change in Selenga River System. *Water Resources*, 2018, vol. 45, no. 2, pp. 22-34. <https://doi.org/10.1134/S0097807818060210>
- Dai S.B., Yang S.L., Li M. The sharp decrease in suspended sediment supply from China's rivers to the sea: anthropogenic and natural causes. *Hydrological Sciences Journal*, 2009, vol. 54, pp. 135-146. <https://doi.org/10.1623/hysj.54.1.135>
- Törnqvist R., Jarsjö J., Pietron J., Bring A., Rogberg P., Asokan S., Destouni G. Evolution of the hydro-climate system in the Lake Baikal basin. *Journal of Hydrology*, 2015, vol. 519, pp. 1953-1962. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.074>
- Kravtsova L.S., Izhboldina L.A., Khanaev I.V., Pomazkina G., Rodionova. E., Domysheva V., Sakirko M., Tomberg I., Kostornova T., Kravchenko O., Kupchinsky A. Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal. *J. Great Lakes Res.*, 2014, vol. 40, no. 2, pp. 441-448.
- Dorjsuren B., Yan D., Wang H., Chonokhuu S., Enkhbold A., Yiran X., Girma A., Gedefaw M., Abiyu A. Observed trends of climate and river discharge in Mongolia's Selenga sub-basin of the Lake Baikal basin. *Water*, 2018, vol. 10, no. 10, pp. 1436. <https://doi.org/10.3390/w10101436>
- Potemkina T.G., Potemkin V.L., Fedotov A.P. Climatic factors as risks of recent ecological changes in the shallow zone of Lake Baikal. *Russian Geology and Geophysics*, 2018, vol. 59, no. 5, pp. 556-565. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.04.008>
- Potemkina T., Sutyryna E., Potemkin V. Changing of the riverine sediment load supply into Lake Baikal: The natural and anthropogenic causes (Russia). *Quaternary International*, 2019, vol. 524, pp. 57-66.
- Zhao Y., Zou X., Gao J., Xinwanghao X.X., Wang C., Tang D., Wang T., Wu X. Quantifying the anthropogenic and climatic contributions to changes in water discharge and sediment load into the sea: a case study of the Yangtze River, China. *Sci. Total Environ.*, 2015, vol. 536, pp. 803-812. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.119>
- Timoshkin O.A., Samsonov D.P., Yamamuro M., Moore M.V., Belykh O.I., Malnik V.V., Sakirko M.V., Shirokaya A.A., Bondarenko N.A., Domysheva V.M., Fedorova G.A., Kochetkov A.I., Kuzmin A.V., Lukhnev A.G., Medvezhonkova O.V., Nepokrytykh A.V., Pasynkova E.M., Poberezhnaya A.E., Potapskaya N.V., Rozhkova N.A., Sheveleva N.G., Tikhonova I.V., Timoshkina E.M., Tomberg I.V., Volkova E.A., Zaitseva E.P., Zvereva Yu.M., Kupchinsky A.B., Bukshuk N.A. Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger? *J. Great Lakes Res.*, 2016, vol. 42, no. 3, pp. 487-497. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2016.02.011>
- Wang H.J., Saito Y., Zhang Y., Bi N., Sun X., Yang Z. Recent changes of sediment flux to the western Pacific Ocean from major rivers in east and Southeast Asia. *Earth-Science Reviews*, 2011, vol. 108, pp. 80-100. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.06.003>
- Lu X.X., Ran L.S., Liu S., Jiang T., Zhang S.R., Wang J.J. Sediment loads response to climate change: a preliminary study of eight large Chinese rivers. *Int. J. Sediment Res.*, 2013, vol. 28, no. 1, pp. 1-14. [https://doi.org/10.1016/S1001-6279\(13\)60013-X](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(13)60013-X)
- Timpe K., Kaplan D. The changing hydrology of a dammed Amazon. *Science Advances*, 2017, no. 3, e1700611. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700611>

**Сведения об авторах**

**Потемкина Татьяна Гавриловна**  
кандидат географических наук,  
старший научный сотрудник  
Лимнологический институт СО РАН,  
Россия, 664003, Иркутск,  
ул. Улан-Баторская, 3,  
e-mail: tat\_pot@lin.irk.ru

**Потемкин Владимир Львович**  
кандидат географических наук,  
старший научный сотрудник  
Лимнологический институт СО РАН,  
Россия, 664003, Иркутск,  
ул. Улан-Баторская, 3  
e-mail: klimat@lin.irk.ru

**Information about the authors**

**Potemkina Tatiana Gavrilovna**  
Candidate of Science (Geography),  
Research Scientist  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation  
e-mail: tat\_pot@lin.irk.ru

**Potemkin Vladimir Lvovich**  
Candidate of Science (Geography),  
Research Scientist  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation  
e-mail: klimat@lin.irk.ru

Коды научных специальностей: 1.6.16, 1.6.14.

Статья поступила в редакцию **01.02.2023**; одобрена после рецензирования **28.02.2023**; принята к публикации **05.03.2023**  
The article was submitted **February, 1, 2023**; approved after reviewing **February, 28, 2023**; accepted for publication **March, 5, 2023**