

УДК 556.535.6

**СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА НАНОСОВ РЕК БАЙКАЛА:
ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВКЛАДОВ КЛИМАТИЧЕСКОГО
И АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРОВ****Потемкина Т.Г., Потемкин В.Л.***ФГБУН «Лимнологический институт» СО РАН, Иркутск, e-mail: tat_pot@lin.irk.ru*

Наблюдаемое в настоящее время снижение стока наносов на основных реках оз. Байкал связано как с климатическими изменениями, так и с антропогенной деятельностью. Однако процессы реагирования стока наносов на климатические изменения остаются еще плохо изученными, вследствие чего имеет место недостаток методов их комплексных оценок. Авторами статьи впервые предпринята попытка дифференцировать климатический и антропогенный факторы и оценить их влияние на сток наносов основных рек Байкала. В целом, в результате изменений окружающей среды сток наносов рассматриваемых рек изменился с $2830 \cdot 10^3$ т/год (1945–1973 гг.) до $1324 \cdot 10^3$ т/год (1974–2011 гг.). Вклад климатического фактора в изменение стока наносов рек оценивается в 36–57%, а антропогенного – в 43–64%. Результаты исследований полезны в целях как рационального управления водными ресурсами в бассейне оз. Байкал, так и дальнейшего изучения, количественной оценки и прогноза влияния изменений окружающей среды на озерно-речные системы в подобных климатических зонах.

Ключевые слова: сток наносов, климатические изменения, антропогенный фактор, реки, оз. Байкал

**RECENT CHANGES IN THE SEDIMENT LOADS OF THE BAIKAL'S RIVERS:
A PRELIMINARY ESTIMATE OF CONTRIBUTION FROM CLIMATE CHANGE
AND HUMAN ACTIVITIES****Potemkina T.G., Potemkin V.L.***Institute of Limnology, Siberian Division, Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, e-mail: tat_pot@lin.irk.ru*

The decrease of sediment runoff observed now in main rivers of Lake Baikal is due both to climatic changes and to anthropogenic activities. However, the processes of sediment runoff response to climate changes remain still insufficiently studied. Consequently, their integrated assessment lack. The authors attempt for the first time to difference climatic and anthropogenic factors and to assess their influence onto sediment runoff in main Lake Baikal's rivers. In a whole, due to environmental changes, the sediment runoff of considered rivers changed from $2830 \cdot 10^3$ tons/year (1946–1973) to $1324 \cdot 10^3$ tons/year (1974–2011). The contribution of climatic factor in change of rivers sediment runoff is assessed as 36–57%, and of anthropogenic one – as 43–64%. The results of the study are useful both for rational management of water resources in Lake Baikal basin and for further studies, for quantitative assessment and for the forecast of influence of environmental changes to lacustrine-riverine systems in similar climatic zones.

Keywords: sediment load, climate change, human activity, Baikal's rivers

Речной сток наносов – основной интегральный показатель происходящих в водосборном бассейне гидрологических, эрозионных, русловых, морфодинамических и др. процессов. Сток речных наносов имеет большое значение для функционирования как непосредственно самой реки, так и приемного водоема. Он влияет, например, на потоки речного материала, геохимические показатели, качество воды, морфологию речных русел и дна прибрежной зоны приемных водоемов, развитие дельт, водные экосистемы реки и водоема. Кроме того, сток речных наносов может оказывать влияние на осуществление водоснабжения, работу речного транспорта и др.

В последние десятилетия речной сток испытывает влияние как глобального изменения климата, так и различной по характе-

ру и интенсивности деятельности человека. Необходимо отметить, что процессы реагирования стока наносов на изменения климата и антропогенную активность во многом остаются еще недостаточно понятными и осмысленными из-за нехватки исследований, данных наблюдений, сложности процессов и, следовательно, трудности их интерпретации, отсутствия методов комплексных оценок. На мировом уровне немного работ опубликовано по вопросу воздействия и оценки влияния изменения климата на сток речных наносов [8, 9], что также относится и к рекам Байкала [2, 11]. Поэтому в представленной работе впервые предпринята попытка дифференцировать климатический и антропогенный факторы и сделать предварительную оценку их влияния на сток наносов основных рек оз. Байкал.

Материалы и методы исследования

Для предварительной оценки реакции стока наносов на изменения окружающей среды были выбраны три основные реки, водосборы которых занимают более 90% площади водосбора Байкала: Селенга (82,8%), Верхняя Ангара (3,6%), Баргузин (3,7%). Эти реки ежегодно приносят в Байкал в сумме около 40 км³ (из 60 км³) и отличаются наибольшим стоком наносов. Многолетняя динамика стока наносов выбранных рек характеризует изменения окружающей среды почти на всей территории водосбора Байкала.

Анализ многолетних изменений расходов воды и взвешенных наносов основных рек Байкала проводился по данным режимных наблюдений Росгидромета. В многолетних рядах наблюдений для сравнения были выделены два периода: 1945–1973 гг. и 1974–2011 гг. В первый период динамика стока наносов на реках в целом отражает общий ход водного стока. Второй период отличается значительным уменьшением стока наносов на фоне мало изменяющейся водности рек. Кроме того, начало второго периода совпадает с наступлением маловодной фазы (1974–1981 гг.) в бассейне Байкала. Также в это время отмечается ускорение повышения как глобальной температуры, так и температуры в Байкальском регионе (причем более значительное). Вследствие указанных причин границей двух рассматриваемых периодов приняты 1973–1974 гг.

Анализировались временные ряды температуры воздуха и атмосферных осадков в бассейнах рассматриваемых рек, определялись тенденции и взаимосвязи между основными гидрологическими и метеорологическими характеристиками за 1945–1973 гг. и 1974–2011 гг.

Оценка влияния на сток наносов изменений окружающей среды проводилась на основе методики [9], оценивающей связь стока наносов восьми крупных китайских рек с изменением климата и антропогенным воздействием. Использовался прием двойных интегральных (кумулятивных) кривых, позволяющий в первом приближении устанавливать начало и степень изучаемых изменений, то есть оценивать вклады климатического и антропогенного факторов в изменение стока наносов. В качестве примера приведены построения для р. Баргузин (рис. 1). На основе двойных интегральных кривых была установлена регрессионная связь между годовыми осадками и стоком наносов, а также между температурой воздуха и стоком наносов для базового периода 1945–1973 гг. (Т1). Затем линия регрессии (Л1 – линия 1) была продлена на анализируемый период 1974–2011 гг. (Т2), при условии, что транспорт наносов происходил при том же климатическом фоне и антропогенном воздействии, как и в базовый период. Путем ввода в установленную регрессию значений атмосферных осадков, измеренных в период Т2, получена линия 2 (Л2), которая показывает изменение стока наносов вследствие реального изменения осадков. Аналогично была получена Л3, показывающая влияние повышения температуры воздуха на сток наносов во втором периоде Т2. Кривая измеренного стока наносов (Л4) показывает фактические его изменения в Т2 под влиянием как климатических характеристик, так и антропогенного воздействия. Таким образом, получены три кумулятивные кривые. Отклонение Л2 от Л1 показывает изменение стока наносов вследствие изменения ат-

мосферных осадков, отклонение Л3 – влияние температурного фона на сток наносов. Отклонение Л4 от Л1 объясняет изменение стока наносов под действием обоих факторов – климатического и антропогенного, при этом расхождение между линиями 3 и 4 демонстрирует влияние на сток наносов деятельности человека. Процентное выражение отклонений указанных линий позволяет оценить вклады обоих факторов климатического и антропогенного, в изменение стока наносов. Такие же построения и расчеты были выполнены для рек Селенга и Верхняя Ангара.

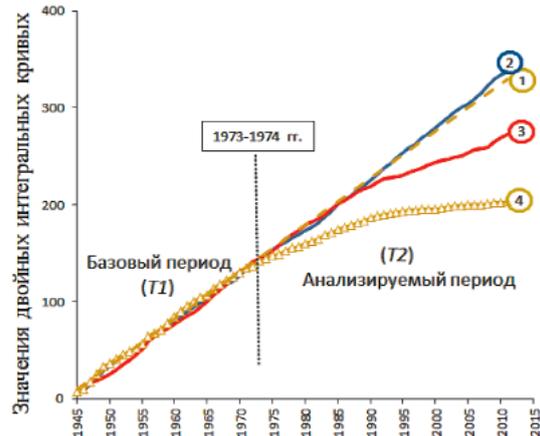


Рис. 1. Дифференциация влияния климатического и антропогенного факторов на сток наносов р. Баргузин на основе двойных интегральных кривых:

Л1 – линия регрессии; изменение стока наносов вследствие изменения атмосферных осадков Л2, температуры воздуха Л3; фактические изменения стока наносов под влиянием климатического и антропогенного факторов Л4

Результаты исследования и их обсуждение

Температура воздуха. К основным климатическим характеристикам, влияющим на сток наносов, относятся температура воздуха и атмосферные осадки. Изменение температуры воздуха в Байкальском регионе составило 1,65°С за 100 лет при среднем глобальном ее повышении 0,75°С, т.е. потепление в Байкальском регионе почти в 2 раза интенсивнее, чем в среднем на земном шаре [2]. Температура воздуха в регионе увеличилась во все сезоны с наибольшим потеплением в зимние месяцы. Аналогичная ситуация отмечается и на монгольской территории бассейна Байкала, где среднегодовая температура воздуха увеличилась с 1963 года на 1,68°С [10]. В течение 1974–2011 гг. температура воздуха в бассейне Селенги выросла на 1,0°С, Верхней Ангары и Баргузина – на 0,9°С (табл. 1).

Таблица 1

Изменения (Δ) стока воды, стока наносов, температуры, атмосферных осадков за рассматриваемые периоды 1945–1973 гг. ($T1$) и 1974–2011 гг. ($T2$)

Река	Сток воды (км ³ /год)			Сток наносов (10 ³ т/год)			Температура (°С)			Атмосферные осадки (мм)		
	$T1$	$T2$	$\Delta\%$	$T1$	$T2$	$\Delta\%$	$T1$	$T2$	$\Delta^{\circ}\text{C}$	$T1$	$T2$	$\Delta\%$
Селенга	29,6	26,0	-12	2252	1132	-50	-1,2	-0,2	+1,0	258	259	+0,4
Верхняя Ангара	8,32	8,76	+5,3	416	142	-66	-3,1	-2,2	+0,9	369	348	-5,7
Баргузин	3,89	4,00	+2,8	162	50	-69	-3,0	-2,1	+0,9	335	355	+6,0

Примечание. Увеличение (+ Δ) и уменьшение (- Δ) характеристик.

Таблица 2

Корреляционные связи между гидрологическими и метеорологическими характеристиками: среднегодовыми значениями расходов воды (Q), взвешенных наносов (R), температурой воздуха (Π), годовыми атмосферными осадками (P)

Река	$Q-R$	$T-Q$	$T-R$	$T-P$	$P-Q$	$P-R$	$Q-R$	$T-Q$	$T-R$	$T-P$	$P-Q$	$P-R$
	1945–1973 гг.						1974–2011 гг.					
Селенга	0,74	0,28	0,40	0,40	0,68	0,63	0,58	-0,07	-0,36	0,08	0,43	0,22
Верхняя Ангара	0,70	0,21	-0,04	-0,08	0,30	0,18	-0,01	0,32	-0,53	0,05	0,34	-0,10
Баргузин	0,55	0,25	-0,08	0,08	0,48	0,18	0,01	0,05	-0,51	0,12	0,71	0,05

Коэффициенты корреляции показывают на отсутствие связи между температурой воздуха и атмосферными осадками в бассейнах рассматриваемых рек за оба периода $T1$ и $T2$ (табл. 2). Влияние температуры воздуха на сток воды рек очень слабое. Значение корреляционной связи между температурой воздуха и стоком наносов для р. Селенга за оба периода почти одинаково, но в $T2$ знак сменился на отрицательный. Для рек Верхняя Ангара и Баргузин корреляционная связь между температурой воздуха и стоком наносов в базовый период $T1$ отсутствует. В $T2$ она появилась, корреляционные коэффициенты увеличились до -0,53 и -0,51 соответственно (табл. 2).

Атмосферные осадки. Распределение атмосферных осадков в бассейне Байкала имеет высокую степень пространственной изменчивости и зависит от многих факторов (удаленность от океанов, орографическое и зональное расположение ландшафтов и др.). Тем не менее количество осадков на российской территории бассейна Байкала преимущественно не изменилось, отмечаются слабо выраженные тренды [4, 11]. На монгольской территории бассейна изменение осадков также незначительно [10], но произошло их внутригодовое перераспределение по сезонам. Возросло количество осенних осадков на 5,2%,

зимних – на 10,7%, а летних и весенних, напротив, уменьшилось на 3,0 и 9,1% соответственно [1]. При этом во всех частях Монголии высока испаряемость, превышающая количество выпадающих осадков, которая в настоящее время постепенно увеличивается практически во всех природных зонах страны. Такая динамика увлажнения и увеличение среднегодовой температуры способствуют аридизации климата, ярким проявлением которой является увеличение повторяемости засух, непрерывное снижение уровня подземных вод и их запасов, пересыхание водных объектов [1, 4, 10]. Как видно из табл. 1, количество годовых осадков на российской территории бассейна Селенги почти не изменилось в период $T2$, незначительно увеличилось в бассейне Баргузина и уменьшилось в бассейне Верхней Ангары. Их влияние на сток воды и наносов рек характеризуется коэффициентами корреляции (табл. 2). Для р. Селенга коэффициент корреляции между осадками и стоком воды в базовый период составлял 0,68, а в анализируемый период он понизился до 0,43. Для р. Баргузин, наоборот, связь между атмосферными осадками и стоком воды увеличилась с 0,48 в $T1$ до 0,71 в $T2$. Наименьшая связь осадков и водного стока прослеживается для Верхней Ангары, изменение коэффициента корреляции в $T2$

несущественно. Связь между атмосферными осадками и стоком наносов рек в целом низкая и отмечается лишь в базовом периоде для р. Селенга.

Сток воды и наносов. Анализируемый период характеризуется четкой тенденцией уменьшения стока наносов на рассматриваемых реках (рис. 2). За 1974–2011 гг. сток наносов уменьшился на 50–69%. Водоносность Верхней Ангары и Баргузина при этом незначительно увеличилась, а Селенги – уменьшилась на 12% (табл. 1).

в анализируемый период на Верхней Ангаре и Баргузине наблюдается уменьшение стока наносов при незначительном увеличении водоносности рек, а на Селенге сток воды и наносов уменьшается. Бассейн Селенги простирается далеко в южном направлении и охватывает районы с разными климатическими условиями (умеренно влажные, сухие, очень сухие, как с положительным, так и с отрицательным трендом осадков). Но преобладающая часть территории МНР испытывает дефицит влаги, который

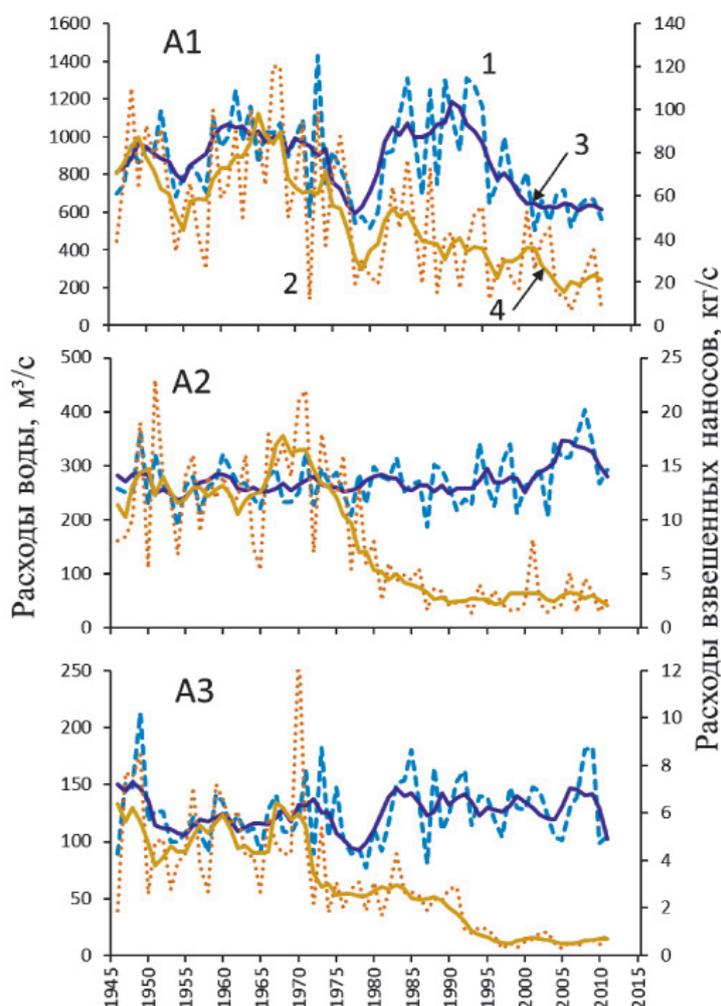


Рис. 2. Многолетние изменения расходов воды (1) и взвешенных наносов (2) и их скользящие осреднения по пятилетиям (3 и 4) рек Селенга (A1), Верхняя Ангара (A2), Баргузин (A3)

Связь между стоком воды и наносов в T1 достаточно тесная, высоки коэффициенты корреляции (табл. 2). Для р. Селенга эта связь значима за оба периода, но в T2 она несколько ослабла. Для Баргузина и Верхней Ангары связь между стоком воды и наносов в T2 уже отсутствует. Таким образом,

в условиях потепления климата усиливается и влияет на увлажненность территории, что сказывается в конечном итоге на стоке рек. Так, на Селенге в пределах Монголии сток воды уменьшился на 39–44% за последние 20 лет, а на ее притоках – на 30–40% за 40 лет [4]. На российской территории

на притоках Селенги (Чикой, Хилок, Уда) также отмечается уменьшение стока воды на 24–39% за 2000–2010 гг.

Многолетняя мерзлота и морозное выветривание. Уменьшению стока наносов на рассматриваемых реках в условиях потепления климата способствуют такие процессы, как деградация многолетней мерзлоты и морозное выветривание в зоне гольцов. Временной ход изменения температуры многолетнемерзлых пород в районе Байкала в общем подобен временному ходу температуры воздуха. В Северном Забайкалье за 1987–2005 гг. температура многолетнемерзлых толщ на глубине 19–20 м повысилась на 0,9 °С [5]. На монгольской территории бассейна Байкала увеличение среднегодовой температуры многолетнемерзлых толщ составляет в среднем 0,2–0,4 °С за десятилетие, причем таяние вечной мерзлоты было более интенсивным в течение последних 15 лет (с 1990 г.) [12]. В условиях глобального потепления и деградации мерзлоты в различных регионах мира отмечено смещение вверх на несколько десятков метров альпийских пределов распространения растительности в течение последних 60–80 лет [6, 7]. В соседней с Байкальским регионом Алтае-Саянской горной стране хорошо заметен подъем верхней границы лесных сообществ на 20–80 м по высоте и 100–900 м по склону. В районе Байкала происходят аналогичные процессы. В результате уменьшается площадь гольцовой зоны, являющейся источником обломочного материала для формирования стока речных наносов, в которой расположена значительная часть речных водосборов. Распространение в этой зоне растительного покрова снижает подготовку обломочного материала, способного вовлекаться в водные потоки, препятствует его перемещению, тем самым создаются условия для уменьшения стока наносов рек.

В условиях потепления климата в бассейнах рассматриваемых рек температура воздуха за 1974–2011 гг. увеличилась на 0,9–1,0 °С (табл. 1). Причем наибольшее потепление отмечено в зимние месяцы на российской и монгольской территории бассейна Байкала. Повышение среднемесячных температур воздуха в зимний период способствует меньшему промерзанию пород. А это значит, что ослабевает морозное выветривание в зоне гольцов в водосборных бассейнах рек и, следова-

тельно, подготовка обломочного для формирования стока наносов. Таким образом, в условиях потепления процессы деградации вечной мерзлоты и ослабления морозного выветривания в гольцовой зоне вносят определенный вклад в изменение стока наносов рек.

Антропогенные факторы. На изменение стока наносов рек в 1974–2011 гг. повлияло и усиление антропогенного фактора в водосборном бассейне Байкала. В бассейнах рек Баргузин и Селенга оно было связано главным образом с упадком сельского хозяйства в период социально-экономических изменений в России (перестройка). Так, к 1999 г. на 84% сократились площади пашен, на 2,6% – пастбищ, уменьшились численность сельского населения и выпас скота, в то же время на 9,3% увеличились территории, используемые под сенокосы. К тому же для предотвращения эрозии в степных ландшафтах, где ранее велось интенсивное сельское хозяйство, были высажены лесопосадки. В результате эрозионные процессы в бассейнах этих рек ослабли, что отразилось на стоке наносов. Территория бассейна Верхней Ангары в сельскохозяйственных целях почти не используется (< 1%). Антропогенный фактор уменьшения стока наносов этой реки в Т2 был связан со строительством Байкало-Амурской железной дороги (1972–1984 гг.). В то время ландшафты водосбора Верхней Ангары подверглись сильному антропогенному воздействию. Железнодорожная трасса пересекла русла и поймы рек, были построены мостовые переходы, железнодорожные насыпи, дамбы, рабочие поселки и др. (препятствия для транзита денудационного материала). Производилась выемка аллювия из рек для строительства железной дороги [3]. Антропогенный фактор значительно повлиял на уменьшение стока наносов этой реки (табл. 1).

Оценка реакции стока наносов на климатические изменения и антропогенные факторы. В базовый период регрессионные связи между рассматриваемыми характеристиками были устойчивы и почти не изменялись (рис. 1). Годовые атмосферные осадки в целом отличались относительной стабильностью и в анализируемый период их изменения незначительны (табл. 1). Поэтому Л2, описывающая регрессию только между стоком наносов и атмосферными осадками, очень близка к Л1, что подтверждает отсутствие или

незначительное влияние атмосферных осадков на сток наносов в T_2 . Линия L_3 отклоняется от L_1 в период T_2 , отражая влияние потепления на режим стока наносов. Реальные изменения стока наносов под действием климатических и антропогенных факторов в T_2 демонстрирует линия L_4 . Площадь графика между линиями L_3 и L_4 отражает влияние антропогенных факторов на режим стока наносов.

Итак, проведенные построения и расчеты показали степень влияния изменений окружающей среды на сток наносов рассматриваемых рек. Различная по характеру деятельность человека в бассейнах Верхней Ангары (62%) и Баргузина (64%) в большей степени повлияла на режим стока наносов этих рек, чем потепление климата, – 38 и 36% соответственно. В бассейне же Селенги, наоборот, более значимым (57%) оказалось влияние потепления. Объясняется это тем, что водосбор Селенги более чем в 20 раз превосходит размеры водосборов рек Верхняя Ангара и Баргузин, простирается в южном направлении и 66% его площади находится на территории Монголии, где усиливается аридизация климата. Таким образом, наблюдаемое в настоящее время снижение стока наносов на исследуемых реках объясняется для р. Селенга преимущественно климатическими факторами (повышение температурного фона и его последствия). Для рек Верхняя Ангара и Баргузин климатические изменения носят второстепенный характер и их влияние на величину стока наносов меньше, нежели антропогенных факторов.

Заключение

Современная динамика стока наносов основных рек Байкала находится под влиянием климатических изменений и антропогенной деятельности. Результаты исследования показали, что сток наносов более чутко реагирует на изменения окружающей среды, чем сток воды. Так, если сток наносов на рассматриваемых реках за 1974–2011 гг. уменьшился на 50–69% по сравнению с периодом 1945–1973 гг., то водоносность рек изменилась лишь на 2,8–12%. В сумме сток наносов изменился с $2830 \cdot 10^3$ т/год до $1324 \cdot 10^3$ т/год за анализируемый период (1974–2011 гг.). Сток наносов может быть использован в качестве лучшего показателя происходящих в водосборном бассейне изменений окружающей среды.

Степень влияния на сток наносов изменений окружающей среды (климатического и антропогенного факторов) за анализируемый период не одинакова для рассматриваемых рек. Влияние климатического фактора на сток наносов оказалось наибольшим в бассейне р. Селенга (57%), в бассейнах рек Верхняя Ангара и Баргузин оно меньше – 38 и 36% соответственно. Различная по характеру хозяйственная деятельность в бассейнах последних рек в большей степени повлияла на их сток наносов.

В представленной работе впервые предпринята попытка дифференцировать климатический и антропогенный факторы и оценить их влияние на сток наносов основных рек оз. Байкал. Но из-за недостатка исследований, сложности процессов и их взаимосвязей реакция стока наносов на климатические изменения во многом остается еще недостаточно изученной и понятой. Так, например, таяние вечной мерзлоты, изменение альпийских границ распространения растительности, эрозийных процессов, ослабление морозного выветривания горных пород в условиях потепления климата могут оказывать, вероятно, существенное влияние на сток наносов в Байкальском регионе. Неоцененным остается также влияющий на сток наносов антропогенный фактор (например, выемка речного аллювия для различных нужд, изменения в использовании земель, лесные пожары и др.). Поэтому для корректировки предварительной оценки влияния изменений окружающей среды на сток наносов будущие исследования нуждаются в выяснении и изучении сложных взаимосвязей между процессами и получением результатов за достаточно длительный период наблюдений. Тем не менее полученные предварительные результаты количественной оценки влияния изменений окружающей среды на сток наносов рек Байкала могут быть полезны в целях рационального управления водными ресурсами и их использования в бассейне озера. Учитывая, что в будущем потепление климата и антропогенная деятельность (в условиях потепления) приведут к последующим изменениям в речных бассейнах, материалы статьи могут быть использованы для дальнейшего изучения, количественной оценки и прогноза влияния изменений окружающей среды на озерно-речные системы в подобных климатических зонах.

Список литературы

1. Гунин П.Д., Казанцева Т.И., Бажа С.Н., Данжалова Е.В., Дробышев Ю.И. Экологические последствия влияния аридизации климата на экосистемы Центральной Монголии // Изменение климата Центральной Азии: социально-экономические и экологические последствия. – Чита: Изд-во Заб. ГГПУ, 2008. – С. 71–84.
2. Потемкина Т.Г. Тенденции формирования стока наносов основных притоков озера Байкал в XX – начале XXI столетиях // Метеорология и гидрология. – 2011. – № 12. – С. 63–71.
3. Потемкина Т.Г., Ярославцев Н.А., Петров В.А. Гидролого-морфологические особенности устьевой области р. Верхняя Ангара // Вод. Ресурсы. – 2012. – № 4. – С. 367–376.
4. Ресурсы подземных вод в неглубоких трансграничных водоносных горизонтах в бассейне озера Байкал: современный уровень знаний, охрана и управление. Отчет для Трансграничного диагностического анализа бассейна озера Байкал. – Россия-Монголия: UNESCO-IHP, 2013. – 77 с.
5. Сергеев Д.О., Ухова Ю.А., Станиловская Ю.В., Романовский В.Е. Температурный режим многолетнемерзлых толщ сезонного слоя в горах Северного Забайкалья (возобновление стационарных наблюдений) // Криосфера Земли. – 2007. – Т. XI, № 2. – С. 19–26.
6. Яшина Т.В. Программа мониторинга изменений климата и экосистем в Катунском биосферном заповеднике // Возможности адаптации к климатическим изменениям в Алтае–Саянском экорегионе. Материалы научно-практич. семинара (Барнаул, 31 мая – 3 июня 2011 г.). – Барнаул, 2011. – С. 138–143.
7. Brusca R.C., Wiens J.F., Meyer W.M., Eble J., Franklin K., Overpeck J.T., Moore W. Dramatic response to climate change in the Southwest: Robert Whittaker's 1963 Arizona Mountain plant transect revisited // Ecology and Evolution. – 2013. – Vol. 3, № 10. – P. 3307–3319.
8. Knight J. and Harrison S. Sediments and future climate // Nature Geoscience. – 2009. – № 2. – P. 230–230.
9. 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 // International Journal of Sediment Research. – 2013. – Vol. 28, № 1. – P. 1–14.
10. Nandintsetseg B., Goulden C.E., Greene J.S. Recent climate change study near Lake Hovsgol, in Changes in Climate, Ecology and Patterns of Pastoral Nomadism in Lake Hovsgol National Park, Mongolia // Admon Publ. – Ulanbaatar, Mongolia, 2006. – P. 25–26.
11. Potemkina T.G., Potemkin V.L. Sediment load of the main rivers of Lake Baikal in a changing environment (East Siberia, Russia) // Quaternary International. – 2015. – Vol. 380–381. – P. 342–349.
12. Sharkhuu N., Eitzelmuller B., Heggem E.S.F., Nelson F.E., Shiklomanov N.I., Goulden C.E., Brown J. Permafrost monitoring in the Hovsgol mountain region, Mongolia // J. Geophys. Res. – 2007. – Vol. 112, F02S06; doi:10.1029/2006JF000543.