

ГЕОГРАФИЯ

Физическая и экономическая география

УДК 551.482(571.54)

DOI: 10.18101/2587-7143-2018-4-51-61

РОЛЬ ПОВЫШЕННОГО СТОКА В ТРАНСПОРТЕ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ РЕК БАСЕЙНА СЕЛЕНГИ

С. Р. Чалов, А. О. Романченко, Н. С. Касимов

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Россия, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы*

© **Чалов Сергей Романович**

кандидат географических наук, старший научный сотрудник
E-mail: hydroserg@mail.ru

© **Романченко Анна Олеговна**

аспирант географического факультета

© **Касимов Николай Сергеевич**

академик РАН, президент географического факультета

Рассмотрены условия формирования стока взвешенных наносов в период прохождения высоких расходов воды на реках в бассейне Селенги. Выявлены сезонные и суточные изменения мутности воды в связи с колебанием водности рек. Исследованы закономерности формирования связи мутности воды и расходов воды, преобладающим типом которых в бассейне является синхронное наступление максимумов этих характеристик, с большими скоростями подъема и спада мутности. Показано, что повышенный сток (половодье, летний паводочный период) определяет величину годового стока наносов (до 99% в годы повышенной водности).

Ключевые слова: бассейн р. Селенги; взвешенные наносы; внутрисуточные колебания; водность; гистерезис; мутность; паводок; расход воды; реки.

Введение

Величина стока взвешенных наносов рек определяется интенсивностью склоновой, овражной и русловой эрозии в речных бассейнах и особенностями гидрологического режима рек. Поступление материала в реки зависит от рельефа местности, характера растительного и почвенного покрова, физико-химических свойств горных пород, деятельности агентов денудации (ветра, льдов и др.) (Маккавеев, 1955) и существенно трансформируется под влиянием антропогенных факторов (Бобровицкая и др., 2004; Walling, 1977). Важнейшую роль в этом играет количество и интенсивность осадков, внутригодовой режим стока (Шамов, 1959).

Изменчивость расходов и мутности воды в течение года приводит к образованию разнообразных кривых и петель на графике связи этих характеристик (Syvitski et al., 2000). Особенности эрозионных процессов и последующего пере-

мещения продуктов выветривания, различия в сроках прохождения повышенного стока приводят к совпадению или несовпадению их хронологических изменений (Алексеевский, 1998). Это отражает большую или меньшую роль периодов повышенного стока в величине годового стока наносов. Традиционно при исследовании связи мутности и расходов воды выделяют четыре типа кривых связи мутности S и расходов воды Q (Алексеевский, 1998; Williams, 1989), характеризующих особенности внутригодового изменения стока взвешенных наносов:

Тип I характеризуется совпадением максимумов S и Q и одинаковой (Ia) или же неоднозначной интенсивностью изменения этих характеристик во времени (Iб и Iв).

Тип II связан с различной интенсивностью нарастания характеристик, которая приводит к нарушению линейности связи между мутностью и расходом воды (IIa- IIб).

Тип III характеризует фазовое смещение пиков S и Q , при котором на подъеме наблюдаются большие скорости нарастания, а на спаде — большие скорости снижения одной из характеристик. Типы связи мутности и расхода воды (IIIa-IIIг) имеют петлеобразную форму и состоят из соединяющихся между собой ветвей подъема и спада, соответствующих периоду увеличения расхода воды до момента пика, и последующего его снижения. Отрицательные гистерезисные кривые образуются, если пик мутности наступает позже пика расхода воды, и значения мутности на ветви подъема расходов воды меньше, чем на спаде, при равных расходах (тип IIIд) или при синхронном наступлении пиков, но с меньшей интенсивностью увеличения мутности на кривой подъема (IIIе).

Тип IV и характеризуется наличием асимметрии пиков мутности и расходов воды. Кривые связи представляют собой замкнутые петли (IVa) и перекрещивающиеся (IVб) ветви подъема и спада.

Если факторы формирования тех или иных типов (I-IV) внутригодового распределения стока наносов исследованы достаточно подробно (Алексеевский, 1998; Тананаев, 2012; Walling, 1977), то роль краткосрочных изменений стока взвешенных наносов, связанных с прохождением отдельных гидрологических событий (паводки дождевого происхождения), в меньшей степени становилось объектом научного поиска. В то же время появление автоматических систем наблюдения за мутностью воды с высокой дискретностью измерения (сутки, часы, минуты) позволило вплотную подойти к их исследованию. Работы на эту тему, появившиеся в последнее время в литературе (Gellis, 2013; Yeshaneh et al., 2013) позволили предложить региональные оценки влияния отдельных гидрологических событий на сток наносов, выявить влияние природной и антропогенной составляющих краткосрочных (сутки, часы) изменений стока наносов.

В этой связи актуальной задачей представляется комплексное изучение роли периодов повышенного стока (фаз водного режима — половодья и паводочных периодов и отдельных гидрологических событий — паводков) в транспорте взвешенных наносов. Объектом исследования выбран бассейн р. Селенги, в последнее время относительно хорошо исследованный в гидрологическом отношении (Гармаев, Христофоров, 2010) и имеющий особую значимость вследствие проблем с уровнем режимом оз. Байкал (Гармаев и др., 2017). Здесь накоплен значительный объем информации о стоке взвешенных наносов, связанный с оценками его многолетней (Потемкина, 2011) и пространственной (Алексеевский и др., 2013) изменчивости и составом переносимого материала (Сороковикова и

др., 2013; Chalov et al., 2014). Сочетание осредненных измеренных данных о мутности и расходах воды с постов Гидрометслужбы России и Монголии и внутрисуточных измерений мутности и расходов воды со станций мониторинга МГУ имени М.В.Ломоносова и Гельмгольц-Центром по Окружающей Среде легли в основу оценки вклада периодов повышенного стока разной продолжительности в транспорт взвешенных наносов рек бассейна Селенги.

Район исследования

Бассейн Селенги занимает площадь 447 000 км² и расположен на территории двух стран: Монголии (67 %) и Российской Федерации (33 % площади). По территории Монголии Селенга течет на восток и северо-восток, после пересечения государственной границы Монголии и России круто поворачивает на север (рис.1). Длина реки 992 км, из которых на территории Монголии — 593 км и на территории России — 399 км, соответственно. Селенга является крупнейшим притоком озера Байкал и ежегодно поставляет в Байкал около 30 км³/год воды (около 60% общего приходной части водного баланса Байкала). Около 46 % годового стока формируется в пределах монгольской части бассейна Селенги.

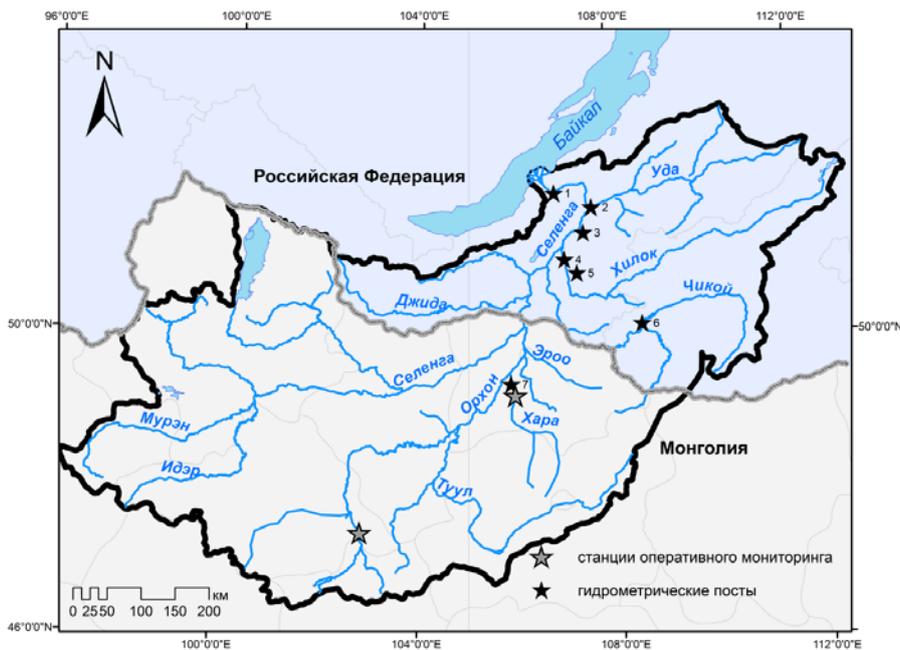


Рис. 1. Гидрографическая схема бассейна р. Селенги с указанием гидрометрических постов, ведущими наблюдения за мутностью и расходами воды (1 — Селенга — рзд. Мостовой; 2 — Уда — г.Улан-Удэ; 3 — Куйтунка — с. Тарбагатай; 4 — Хилок — с. Хайластуй; 5 — Сухара — с. Цолга; 6 — Чикой — с. Гремячка; 7 — Хара — Бурунхара)

По водному режиму большинство рек бассейна Селенги относятся к типу рек с весенним половодьем и паводками в теплый период года. Для большей части территории основную стокообразующую роль играют дождевые осадки (Гармаев, Христофоров, 2010). Континентальность климата бассейна Селенги обуславливает небольшое количество осадков (до 700 мм), а также их сильную неравномерность распределения в течение года. Наиболее интенсивные ливневые осадки

наблюдаются в июле — августе и являются причиной образования паводков. Наибольшие суточные суммы осадков могут достигать 100–150 мм. Формированию высоких паводков способствует горный рельеф, а также наличие многолетней мерзлоты, соответствующие высоким коэффициентам стока. Общая продолжительность паводочного сезона на реках южных районов составляет в среднем 3–4 месяца, в северных — 2–3 месяца. В отдельные многоводные годы повышенный сток (половодье и летний паводочный период) может продолжаться почти в течение всего теплого периода (май–сентябрь).

Территория относится к регионам с относительно невысокими значениями средней мутности (Кузнецов, 1955; Bobrovitskaya, 1996) меняющейся в пределах бассейна от 25 до 250 г/м³. Селенга выносит в Байкал в среднем 1,733 млн т/год взвешенных наносов, что соответствует среднегодовому расходу 55 кг/с (1941–2008 гг., разъезд Мостовой). Оценка многолетних трендов (Потемкина, 2011) демонстрирует снижение среднегодового расхода наносов 67,5 кг/с (период 1941–1982 гг) до 34,9 кг/с (период 1982–2008 гг.) на фоне продолжительного (с 1996 года) периода маловодья.

Материалы и методы

В работе рассматривались отдельные периоды повышенного стока разной продолжительности и генезиса, под которыми понимались периоды устойчивого повышения расходов воды относительно референсных (предшествующих подъему). Использовались сетевые данные (суточные измерения мутности и расходов воды) гидрометрических станций РосГидромета РФ и Гидрометслужбы Монголии. Продолжительность рядов наблюдений за мутностью и расходами воды составил от 10 до 30 лет в интервале времени 1960–2000 гг. В работе задействованы также данные, полученные на станциях мониторинга экспедиций географического факультета МГУ в 2011–2013 гг и данные станции системы мониторинга проекта Momo (Integrated Water Resources Management in Mongolia) на р. Хара, реализуемой Гельмгольц-Центром по Окружающей Среде (Германия) (2012–2013). В первом случае все измерения мутности воды производились стандартным методом (Руководящий документ, 2002). На посту р. Хара ежедневные измерения мутности воды стандартным методом дополнялись высокочастотными (каждые 30 минут) измерениями оптической мутности T (turbidity, степень рассеяния светового луча) автоматическим датчиком YSI 5200A (Алексеевский и др., 2013). Для поста получена зависимость между оптической и весовой мутностью: $S = 1.08T^{0.8773}$ (коэффициент корреляции $r=0.86$), используемая далее в расчетах для оценки мутности воды S с дискретностью 30 минут по данным измеренных значений T .

В работе рассмотрены суточные измеренные значения мутности и расходов воды на шести постах российской части бассейна (р. Селенга, Чикой, Хилок, Уда, Сухара, Куйтунка), а также на двух створах в монгольской части бассейна (р. Хара и р. Орхон), выполненные в период времени с апреля по октябрь (рис. 1). Из семи рассмотренных рек лишь на Селенге наблюдается выраженное половодье, остальные же реки имеют паводочный режим. В общей сложности было проанализировано около 160 периодов повышенного стока протяженностью от нескольких дней до двух месяцев на семи реках. В течение одного года анализировалось до трех периодов.

Для каждого периода повышенного стока рассмотрены связи мутности и расходов воды $S=f(Q)$, типовые уравнения для каждого створа использованы для количественной оценки вклада периодов повышенного стока в объем годовой

транспорта взвешенных наносов. Характерные зависимости $S=f(Q)$ были построены для периодов подъема и спада расходов воды, по полученным зависимостям восстановлены расходы наносов за весь период повышенного стока (половодье и летний паводочный период, продолжительность которых изменялась в зависимости от водности года от 183 до 266 дней). Для периода межени использованы средние месячные значения расходов наносов.

Гидрографы рассмотренных рек были разделены на интервалы расходов воды, для каждого интервала была вычислена продолжительность попадающих в интервал расходов воды в днях. На этой основе определялся суммарный сток наносов для каждого интервала расходов воды, соответствующий проценту от общего стока наносов за период летне-осенних паводков.

Характер изменений стока взвешенных наносов в период отдельных гидрологических событий (в пределах суток) в период локальных гидрологических событий анализировались на основе данных, полученные данные со станций мониторинга на р. Хара (2012 год) и р. Орхон (2011 год). Для оценки внутрисуточного влияния колебаний мутности на сток наносов рассчитывался суточный сток взвешенных наносов R (т/день) и сток взвешенных наносов за каждые 30 минут R_{30} (т/30мин), соответствующий расходу воды Q_{30} (т/30мин) и мутности воды S_{30} (т/30мин). Для них проводилось построения кривых $S_{30}=f(Q_{30})$. Для оценки репрезентативности ежедневных одноразовых измерений мутности воды из ряда величин R_{30} выбраны значения, соответствующие измерению в 12 часов дня.

Результаты и их обсуждение.

Было выявлено 11 типов кривых связей $S=f(Q)$, из которых типы (Шб, Ша, Шв, Шг, Шд, Ше, IVа, IVб) не являются характерными для каких-либо постов. Наиболее часто связи мутности и расходов воды характеризуются синхронным наступлением максимумов этих характеристик, с большими скоростями подъема и спада мутности. На трех постах (Селенга — раз. Мостовой; Чикой — с. Гремячка и Уда — г. Улан-Удэ) доминирующим является тип Шб, на р. Хилок (с. Хайластуй) — тип Па и на р. Хара — Бурунхара — тип Ib. Характерные типы кривых связи мутности и расхода воды для периодов подъема и спада расходов воды сведены в таблице 1. Для рек Сухара и Куйтунка прохождение паводков сопровождается разными формами неоднозначных связей (тип IV).

Таблица 1

Преобладающие типы кривых и уравнения связи $S=f(Q)$

| Река-пост | Тип кривой | Зависимость | |
|-------------------------|------------|----------------------|---------------------|
| | | Подъем | Спад |
| Селенга — раз. Мостовой | Шб | $S = 0,043Q^{1,05}$ | $S = 0,0002Q^{1,7}$ |
| | | $R^2 = 0,84$ | $R^2 = 0,64$ |
| Чикой — с. Гремячка | Шб | $S = 0,011Q^{1,58}$ | $S = 0,0027Q^{1,7}$ |
| | | $R^2 = 0,78$ | $R^2 = 0,63$ |
| Хилок — с. Хайластуй | Па | $S = 6,81e^{0,009Q}$ | |
| | | $R^2 = 0,68$ | |
| Уда — г. Улан-Удэ | Шб | $S = 2,29Q^{0,79}$ | $S = 0,02Q^{1,66}$ |
| | | $R^2 = 0,71$ | $R^2 = 0,79$ |
| Хара — Бурунхара | Iб | $S=17,6Q+87,3$ | |
| | | $R^2 = 0,73$ | |

Анализировалась встречаемость различных типов формирования стока наносов в период повышенной водности (табл. 2). В створе р. Селенга — раз. Мостовой встречались все четыре типа положительных гистерезисных кривых (Ша-Шг) Наиболее распространенный тип связи — Ш б (57%). Отрицательные типы гистерезисных связей наблюдались в различные месяцы летнего периода, преимущественно в его конце. Опережение пика расходов воды не типично для данной реки и выражает лишь гидрологическую ситуацию определённых лет.

Аналогично среди 30 проанализированных периодов повышенного стока р. Чикой (с. Хайластуй) основная часть (69 %) характеризовались положительными петлями связи $S=f(Q)$ (Ша-Шг). Лишь один случай из рассмотренных относился к отрицательным петлям (IVб), оставшиеся были представлены однозначным типом связи (IIа), наблюдавшемся в основном в первые месяцы летне-осеннего периода. Формирование указанного типа связи определяется высокими коэффициентами стока, характерными для этой части бассейна (Гармаев, Христофоров, 2010). Аналогичные результаты получены для р. Уды (г. Улан-Удэ), где кривые типа Ш б характерны для 20 паводков из 36 рассмотренных, а общее число положительных петель разных видов составило более 95 % от всех рассмотренных периодов

Паводочный период на р. Хилок в створе с. Хайластуй для рассмотренных лет характеризовался в основном однозначной связью кривых связи мутности и расходов воды (80%) (тип IIа), остальные 20 % зависимостей были представлены положительными гистерезисными петлями (типы Ша-Шг). Основной тип — IIа, который описывает одновременное наступление максимальных значений и одинаковую интенсивность подъема и спада S и Q . На реке Хара было рассмотрено 15 периодов повышенной водности, преобладает прямолинейная зависимость между мутностью и расходами воды.

Неоднозначным типом связи $S=f(Q)$ характеризуются периоды на р. Куйтунка — с. Тарбагатай. Это связано с распространением в бассейне эолово-делювиальных лёссовидных супесей, которые легко подвергаются эрозии, что приводит к наличию экстремальных пиков мутности на фоне невысоких расходов воды. В целом для данной реки характерны различные сложные типы связи мутности и расхода воды (IVб). Аналогичная ситуация отмечена и для р. Сухара, что позволяет сделать вывод о том, что для рек малого размера (Сухара, Куйтунка), подверженных влиянию местных геолого-геоморфологических факторов формирования стока, выявление однозначных связей $s=f(Q)$ затруднительно. Далее в расчетах эти створы не использовались.

Более быстрые (внутрисуточные) изменения характеристик стока взвешенных наносов исследованы для двух створов, расположенных в горной (р. Орхон) и предгорной (р. Хара) частях бассейна. На р. Хара анализировался период времени с 24 июня по 27 августа 2012 года, в течение которого здесь наблюдалось прохождение четырех паводков. Максимальные расходы воды наблюдались в конце июля, в период прохождения наиболее длительного по времени и наиболее крупного паводка. Длина ряда измерений расходов и мутности воды составила около 3500 тысяч определений. Рассмотренные паводки характеризовались различными типами кривых связи мутности и расхода воды: так для первого паводка наблюдались отрицательные гистерезисные кривые с одновременным наступлением пиков, для наиболее крупного паводка связь $S=f(Q)$ была представлена положительной гистерезисной петлей типа IIIа, для последующих же паводков

связь мутности и расхода характеризовалась сложными отрицательными петлями.

Таблица 1
Встречаемость различных типов связей $S=f(Q)$ на реках бассейна Селенги

| Река-пост | Число половодий/паводков | Встречаемость гидрологических событий (число/%) | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|---|-------|-----|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|
| | | Iб | IIа | IIб | IIIа | IIIб | IIIв | IIIг | IIIд | IIIе | IVа | IVб |
| Селенга — раз. Мостовой | 13/22 | | | 2/6 | 3/8 | 20/57 | 3/8 | 1/3 | 2/6 | 2/6 | 2/6 | |
| Чикой — с. Гремячка | 6/30 | | 7/23 | | 5/17 | 12/40 | 1/3 | 1/3 | | | | 1/3 |
| Хилок — с. Хайластуй | 0/23 | | 18/78 | | 1/4.5 | 3/13 | 1/4.5 | | | 1/3 | 2/7 | |
| Уда — г. Улан-Удэ | 2/36 | | 2/6 | | 4/11 | 25/69 | 5/14 | | | | | |
| Хара — Бурунхара | 0/15 | 10/67 | | | 2/13 | | | | 1/10 | | | |

На р. Орхон данные позволили охарактеризовать ситуацию в период прохождения дождевого паводка в 29.07–01.08 2011 года. Происходило интенсивное возрастание расхода воды и мутности в связи с обильными осадками в горной части бассейна, в период времени между 17 часами 28 июля и 8 часами утра 29 июля мутность возросла более чем в 15 раз при двухкратном увеличении расхода воды. При прохождении паводка на р. Орхон происходило существенное изменение мутности воды, в течение суток сток наносов возрос на сотни процентов: 6300 т/сут на подъеме и 48000 т/с на пике паводка. Вид связи $S=f(Q)$ при этом представлял собой отрицательную гистерезисную кривую.

На изученных постах вклад половодья и летнего паводочного периода в транспорт взвешенных наносов рек бассейна Селенги составляет от 52 до 99 % от годового стока наносов (табл. 3). Самая высокая доля стока наносов за этот период формируется в многоводные годы, наименьшая — для маловодных. Для наиболее крупных рек доля стока наносов для года средней водности соответствует средней многолетней доле стока воды за теплый период. На малых реках

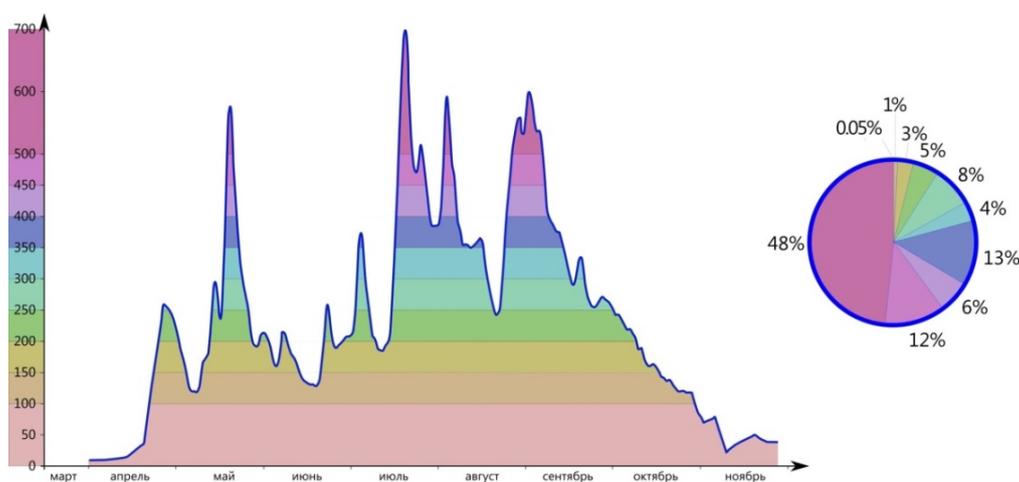
роль периода повышенной водности в годовом стоке взвешенных наносов максимальна.

Таблица 3

Характерный сток наносов за летне-осенний период для лет разной водности

| Река-пост | Год | R за летне-осенний период | | Продолжительность периода, дней/% от года |
|-------------------------|------------------|---------------------------|-----------|---|
| | | тонны | % от года | |
| Селенга — раз. Мостовой | 1976(маловод.) | 2720000 | 98 | 183/50% |
| | 1967(сред.водн.) | 3120000 | 82 | 183/50% |
| | 1973(многовод.) | 13900000 | 99 | 264/67% |
| Чикой — с. Гремячка | 1972(маловод.) | 28100 | 52 | 183/50% |
| | 1963(сред.водн.) | 138000 | 89 | 183/50% |
| | 1962(многовод.) | 431000 | 99 | 183/50% |
| Хилок — с. Хайластуй | 1977(маловод.) | 43300 | 72 | 188/52% |
| | 1967(сред.водн.) | 87900 | 94 | 266/73% |
| | 1973(многовод.) | 345000 | 99 | 217/59% |
| Уда — г. Улан-Удэ | 1977(маловод.) | 30300 | 96 | 183/50% |
| | 1963(сред.водн.) | 104000 | 97 | 216/59% |
| | 1973(многовод.) | 267000 | 99 | 218/60% |
| Хара — Бурунхара | 2002(многовод.) | 4340 | 97 | 189/52% |
| | 1992(сред.водн.) | 27900 | 97 | 245/67% |
| | 1990(маловод.) | 38300 | 97 | 253/69% |

В целом для всех рассмотренных рек наблюдается увеличение роли расходов малой продолжительности с увеличением водности года. Маловодные года характеризуются меньшей продолжительностью периода повышенной водности, при этом значительная доля годового стока наносов приходится на невысокие расходы воды со значительной повторяемостью. Для максимальных по водности лет расходы воды малой повторяемости определяют значительно больший вклад в суммарный сток наносов (рис. 2).



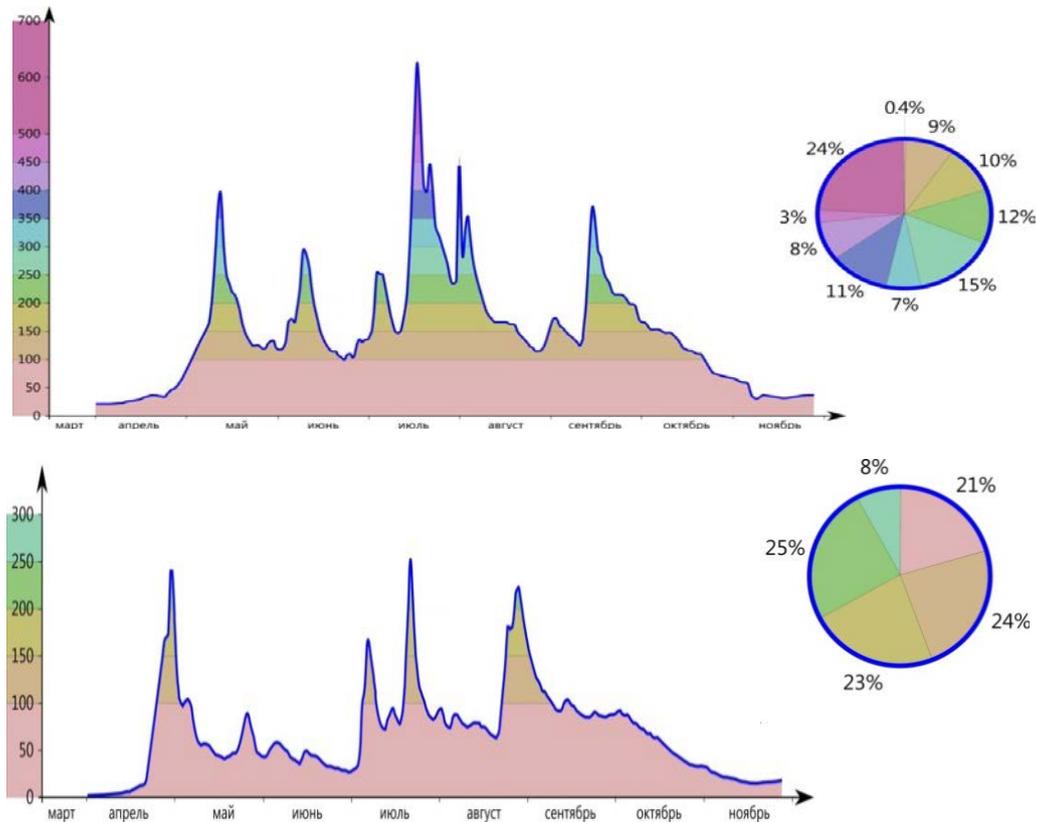


Рис. 2. Сток наносов за интервалы расходов воды р. Чикой различной продолжительности

Характер изменения стока взвешенных наносов в период краткосрочных гидрологических событий (дождевых паводков) на реках бассейна существенно отличается в зависимости от конкретной синоптической обстановки и геолого-геоморфологических условий. Прохождение паводков на р. Хара приводило к незначительным изменениям стока взвешенных наносов. Внутрисуточные колебания мутности составляли около 5 % от внутрисезонных отличий. Максимальное изменение значений мутности в пределах двух смежных дней составило 22 %: 201 т/сут на подъеме и 247 т/сут (при максимальном расходе воды — 30 м³/с). Наоборот, вклад одного дождевого паводка на горной р. Орхон в горной части бассейна (рис. 1) соответствовал более чем 15-кратному увеличению расхода взвешенных наносов в течении суток. Указанные отличия связаны с разными условиями формирования стока в горной и равнинной частях бассейна. Если на р. Хара образованию паводков предшествуют значительные потери стока на увлажнение почв, инфильтрацию и т.д., то на р. Орхон в условиях горной местности с высокими коэффициентами стока формирование паводков происходит без потерь и со значительными скоростями, что определяет усиление суточных и внутрисуточных колебаний стока взвешенных наносов.

Выводы

Периоды повышенной водности играют определяющую роль в формировании стока взвешенных наносов в бассейне Селенги. В многоводные годы роль половодья и летнего паводочного периода возрастает по сравнению с годами пони-

женной водности. На вид связи мутности и расходов воды оказывает влияние размер реки, для малых рек, подверженных местным аazonальным стокообразованиям, свойственно образование сложных связей. Для средних зональных рек характерным является однозначный тип связи, на наиболее крупных реках (Чикой, Селенга) связь $S=f(Q)$ представляет собой гистерезисные кривые различных типов. Вклад периодов повышенного стока в транспорт взвешенных наносов составляет до 99 % от годового стока. С учетом имеющихся сведений о снижении водности рек бассейна Селенги (Гармаев, Христофоров, 2010) наши результаты дают представление о причинах многолетней изменчивости стока наносов (Потемкина, 2011), значительную роль в которой играет снижение максимальных расходов и водности половодья и паводков. Оценки сезонных отличий суммарного стока наносов (с учетом влекомых) могут значительно отличаться от приведенных в данной работе, что требует проведения специальных исследований.

Выполнено при поддержке проектов РФФИ 17-29-05027, 18-05-60219 и при частичной поддержке грантового проекта РГО «Байкальская экспедиция».

Литература

1. Алексеевский Н. И. Формирование и движение речных наносов. М.: Изд-во МГУ, 1998. — 202 с.
2. Алексеевский Н. И., Белозерова Е. В., Касимов Н. С., Чалов С. Р. Пространственная изменчивость взвешенных наносов рек бассейна Селенги в период прохождения летних паводков // Вестник МГУ. Серия 5. 2013. № 4.
3. Бобровицкая Н. Н., Зубкова К. М., Ткачева Л. Г. Водноэрозионные процессы на склонах, сток наносов рек в современных условиях // Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 6. Проблемы русловых процессов, эрозии и наносов. СПб., Гидрометеиздат, 2004, с. 106-108.
4. Гармаев Е. Ж., Христофоров А. В. Водные ресурсы рек бассейна озера Байкал: основы их использования и охраны. Новосибирск: Академическое издательство «ГЕО», 2010. 227 с.
5. Гармаев Е. Ж., Цыдыпов Б. З., Дабаева Д. Б., Андреев С. Г., Аюджанаев А. А., Куликов А.И. Уровенный режим озера Байкал: ретроспектива и современное состояние // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 2. С. 4-18.
6. Кузнецов Н.Т. Основные закономерности режима рек Монгольской Народной Республики. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 104 с.
7. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.
8. Потемкина Т.Г. Тенденции формирования стока наносов основных притоков озера Байкал в XX и начале XXI столетия // Метеорология и гидрология. 2011. №12. С. 63–71.
9. РД 52.08.104-2002. Руководящий документ. Методические указания. Мутность воды. Методика выполнения измерений. М., 2002. 12 с.
10. Сороковицкая Л.М., Поповская Г. И., Томберг И. В., Синюкович В.Н., Кравченко О. С., Маринайтс И. И., Башинхаева Н. В., Хеджер Т. В. Качество воды р. Селенга на границе с Монголией в начале XXI // Метеорология и Гидрология. 2013. № 2. С. 9-101.
11. Сток наносов и его географическое распределение. / ред. А.В. Караушева. Гидрометеиздат, Л., 1977. 240 с.
12. Тананаев Н.И. Эффект гистерезиса в сезонной изменчивости соотношения расхода и мутности воды рек криолитозоны Сибири и Дальнего Востока // Водные ресурсы. 2012. №6. С. 598-607.
13. Шапов Г.И. Речные наносы. Л.: Гидрометеиздат, 2-е издание, 1959. 378 с.
14. Bobrovitskaya N.N. Long-term variations in mean erosion and sediment yield from the rivers of Former Soviet Union // In Erosion and Sediment Yield: Global and Regional

Perspectives. Proceedings of the Exeter Symposium, July 1996, IAHS Publ., 1996, No. 236, p. 407–413.

15. Chalov S., Jerker J., Kasimov N., Romanchenko A., Pietron J., Thorslund J., Belozerova E. Spatio-temporal variation of sediment transport in the Selenga River Basin, Mongolia and Russia. 2014. DOI: 10.1007/s12665-014-3106-z

16. Gellis A.C., Factors influencing storm-generated suspended-sediment concentrations and loads in four basins of contrasting land use, humid-tropical Puerto Rico // *Catena*. 104. 2013. P. 39–57

17. Syvitski J.P.M., Morehead M.D., Bahr D.B., Mulder T. Estimating fluvial sediment transport: the rating parameters // *Water Resources Research*. 2000. V. 36. № 9. P. 2747–2760.

18. Walling D.E. and Fang D. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers // *Global and Planetary Change*. 2003. 39. P. 111–126.

19. Walling D.E. Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin // *Water Resources Research*. 1977. V. 13. № 3. P. 531–538.

20. Williams G.P. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers // *J. Hydrology*. № 111. 1989. P. 89–106.

21. Yeshaneh E., Eder A., Blöschl G. Temporal variation of suspended sediment transport in the Koga catchment, NorthWestern Ethiopia and environmental implications // *Hydrol. Process*. 2013. DOI: 10.1002/hyp.10090

THE ROLE OF THE INCREASED RUNOFF IN THE SUSPENDED SEDIMENT TRANSPORT OF THE SELENGA BASIN RIVERS

S. R. Chalov, A. O. Romanchenko, N. S. Kasimov

*Lomonosov Moscow State University
Russia, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskie Gory*

Chalov Sergey Romanovich

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher
E-mail: hydroserg@mail.ru

Romanchenko Anna Olegovna

Postgraduator of Faculty of Geography

Kasimov Nikolai Sergeevich

Academician of RAS, President of Geographical Faculty

The conditions for the formation of suspended sediment runoff during the passage of high water flows on the rivers in the Selenga basin are considered. Seasonal and diurnal changes in water turbidity due to fluctuations in the water level of rivers are identified. The relationship governing the formation of the connection between turbidity and water flow, the predominant type of which in the basin is the simultaneous occurrence of the maxima of these characteristics, with high rates of rise and fall of turbidity are studied. It is shown that increased runoff (flood, summer flood period) determines the value of the annual sediment flow (up to 99% in years of high water content).

Keywords: Selenga basin, suspended sediments, intraday fluctuations, water content, hysteresis, turbidity, flood, water discharge, rivers.