

УДК 556.5 (551.4)

## ВНУТРИДЕЛЬТОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА РЕКИ СЕЛЕНГИ

Исследования проводятся при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-05-00286 «Природные процессы в устьевых областях притоков и на прилегающем побережье оз. Байкал в условиях естественных и антропогенных изменений» и гранта РФФИ 17-29-05052 офи\_м «Экзоморфолитогенез устьев Байкальских притоков на современном этапе гидроклиматического цикла: моделирование и прогноз».

© **Ильичева Елена Анатольевна**

старший научный сотрудник, кандидат географических наук,  
Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1  
E-mail: lenail3663@mail.ru

Рассматривается сток реки Селенги в период зарегулированности озера Байкал. Показана тенденция снижения водности в бассейне реки Селенги за рассматриваемый период. Проведено сравнение распределения стока по основным рукавам и секторам дельты в периоды малой, средней и высокой водности. В балансе стока по протокам во все периоды выявлена невязка, связанная с геоморфологическими особенностями субаэральной дельты. Исследование основано на ретроспективном анализе картографических материалов, анализе данных прошлых лет и на результатах сезонных наблюдений по 13 гидрометрическим створам, установленных на основных протоках дельты, продольном профилировании проток. Представлены морфометрические характеристики субаэральной дельты. Определены основные факторы дельтоформирования и распределения стока: условия водности, сток воды и наносов, уклон и морфометрия русел, уречный режим принимающего водоема и тектонические проявления. Показана зависимость для последнего маловодного периода между значениями расходов в вершине дельты, уровнем Байкала и распределением стока по секторам дельты. К настоящему времени определяются тенденции распределения стока по крайним секторам дельты.

**Ключевые слова:** речной сток, расход воды, речная сеть, дельта, Селенга, Байкал.

### Введение

Исследования речных дельт имеют продолжительную историю, огромный вклад в которую внесла отечественная наука, изучая устья российских и мировых рек, и в тоже время дельта р. Селенги остается малоизученной, хотя следует заметить, что последние десятилетия исследования этого уникального географического объекта наращивает обороты. Основной причиной образования дельты в устье реки является взаимодействие речных вод, насыщенных наносами, уровня воды и режима принимающего водоема. В связи с этим дельта Селенги приобретает еще большую эксклюзивность, поскольку ее принимающий водоем — озеро Байкал является одновременно и Иркутским водохранилищем, обеспечивающим работу каскада Ангарских ГЭС. В настоящий момент возникает еще одна важнейшая потребность в изучении дельты Селенги, поскольку рассматриваются проекты строительства ГЭС и переброски стока в речной системе монгольской части бассейна реки.

Распределение стока по русловой сети дельт характеризует гидрологические процессы, отвечающие за баланс стока наносов и растворенных веществ, обводнение или осушку различных частей дельты, динамику морского края и устьевых баров и, наконец, определяет возможности хозяйственного использования этих территорий. Знания распределения водного стока в дельтах в многолетнем, сезонном и кратковременном масштабах позволяют решать как вопросы фундаментальной науки, так и существующие практические и прогнозные задачи природопользования этих районов.

В русловой сети дельты реки Селенги нет постоянной мониторинговой сети Росгидромета, фактически, наблюдения за стоком производятся в низовьях реки на двух постах (разъезд Мостовой и с. Кабанск), данные наблюдений по этим створам не публикуются в общедоступных материалах. Оценить распределение стока в водотоках дельты за длительный промежуток времени в полной мере достаточно сложная задача, что обусловлено эпизодичностью данных, полученных различными исследователями в дельте Селенги. К настоящему времени Институт географии им. В.Б. Сочавы обладает материалами гидрометрических съемок с 2003 г. в мониторинговой сети.

#### **Факторы дельтоформирования**

Уровенный режим озера Байкал как принимающего водоема и формирующего базис эрозии, является одним из ведущих факторов современного формирования дельты р. Селенги. Создание Иркутской ГЭС ознаменовало новый этап развития байкальских берегов, в том числе и устьев притоков озера. Для дельты Селенги повышение уровня Байкала, в первую очередь, отразилось в затоплении больших площадей озерного края, повышении уровня грунтовых вод и как следствие, подтоплением субаэральной части, образованием множества внутридельтовых водоемов, перестройке системы дельтовых водотоков, формированием межкуравных пространств и др.

Среднегодовое зарегулированный уровень озера поддерживается на 1 м выше среднего уровня Байкала, существовавшего до строительства ГЭС. Годовой ход уровня в условиях подпора в целом сохраняет основные черты естественного режима приточности. Зарегулированность проявляется в увеличении амплитуды колебаний уровня от 80 до 113 см. С 2001 года амплитуда колебания уровня озера Байкал выдерживается в пределах отметок 456,0–457,0 м (ТС). В период 2014–2015 гг. общий объем притока в озеро уменьшился по сравнению с предыдущим периодом [1]. Основные причины формирования чрезвычайно низких уровней связаны с экстремально низкими условиями водности из-за существенного дефицита осадков. За предшествующие годы такая ситуация наблюдалась 7 раз — в 1977, 1979, 1980, 1981, 1989, 2002 и 2011 годах.

Водный сток р. Селенги в нижнем течении характеризуется крайне неравномерным внутригодовым распределением. Расходы реки в летнее время достигают 5–7 тыс. м<sup>3</sup>/с, снижаясь в январе-марте до 70-80 м<sup>3</sup>/с. В качестве замыкающего створа, по которому оцениваются межгодовые и сезонные изменения стока Селенги, традиционно используется гидрометрический створ у разъезда Мостовой [5]. В период с 1934 г. до 1999 г. среднее годовое значение расхода воды составляло 930 м<sup>3</sup>/с, или 29,3 км<sup>3</sup> в год. С 1999 г. по 2017 г. включительно, отмечался маловодный период со средним годовым расходом воды в вершине дельты

505 — 809 м<sup>3</sup>/с, среднемноголетний расход воды за весь период наблюдений составляет 887 м<sup>3</sup>/с. В период зарегулированности наблюдалось несколько пиков водности с 1972 по середину 90-х годов XX в, приведших к значительной перестройке русловой сети [3].

В период зарегулированности основная дельтоформирующая роль отводится стоку воды и наносов и тектоническим проявлениям.

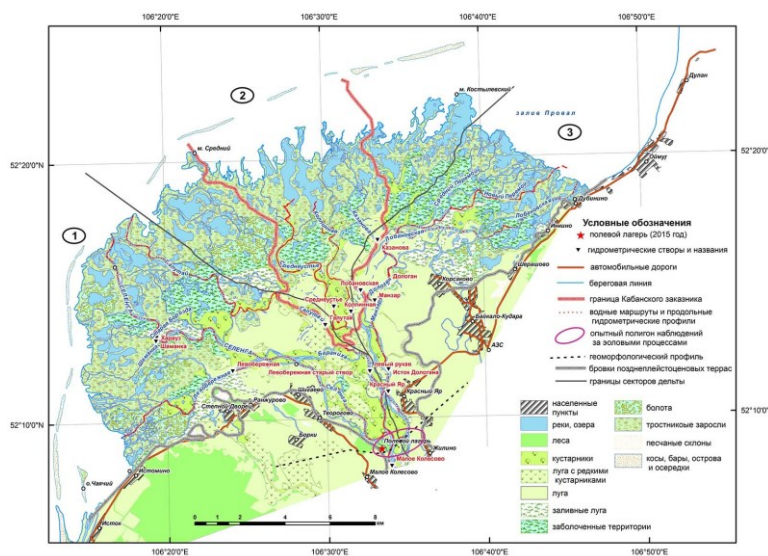
#### Объекты и методы

Для исследования дельты р. Селенги используются результаты полевых гидрометрических работ и расчеты морфометрических параметров русловой сети, а также картографические методы сравнения и визуализации получаемых данных.

К настоящему времени в дельте реки Селенги организовано 13 гидрометрических створов (рис. 1). На створах основных протоков дельты, производятся синхронные измерения расходов для оценки стока в центральной ее части. Полевые исследования проводятся в период открытого русла с июня по сентябрь. Практически все гидрометрические посты не изменили своего местоположения, исключение составляет створ на протоке Левобережная. В связи с активным размывом берегов и плановыми изменениями русел в 2011 г. пост потребовалось перенести на 2,5 км ниже по течению протоки. В 2015 г. организован новый пост на протоке Казанова для учета все более нарастающего стока в этом направлении.

На створах организованы высотные репера, что дает возможность оценки горизонтальных и вертикальных русловых деформаций во времени. Ежегодно на протоках ведется продольное профилирование с целью выявления уклонов русла, процессов русловой эрозии и аккумуляции. Для анализа эрозионно-аккумулятивного процесса используется глубины, приведенные к абсолютным отметкам дна. Береговая эрозия учитывается по изменению положения бровки берегов и установленных реперов.

Для исследования плановых русловых деформаций, морфометрии субаэральной дельты, положений кос и баров в авандельте, а также для сравнения высот-



ных характеристик междуречных пространств использован разновременной картографический материал.

Рис. 1. Карта фактического материала (цифрами обозначены секторы дельты: 1 — Селенгинский; 4 — Среднеустьевский; 3 — Лобановский)

Морфометрия дельтового конуса, положение и конфигурация внешних границ, динамика гидрографической системы находятся в непрерывном процессе переформирования под влиянием и совместного действия колебаний уровня Байкала, гидрологического режима и климатических условий на территории водосборного бассейна реки Селенги. Дельта Селенги расположена в активном тектоническом районе, что обуславливает специфику развития территории. Дополнительными факторами воздействия на формирование современной дельты можно рассматривать антропогенные вмешательства в виде обустройства защитных вдольбереговых дамб и дноуглубительных работ в судоходных протоках.

Абсолютные отметки субаэральной поверхности дельты находятся в пределах 455,5–460 м, глубины в руслах составляют в среднем 2–3 м и могут достигать 10–11 м. Максимальные высоты террас (3–5 м) расположены на привершинных участках и по сторонам дельтового прогиба [2]. С учетом положения и динамики формирования гидроморфологических элементов различных частей дельты (береговая линия, извилистость протоков и густота речной сети, заозеренность) выделено три сектора дельты: Лобановский, Среднеустьевский и Селенгинский. В указанных секторах наблюдается унаследованные морфодинамические черты формирования дельты за период с 1898 года по настоящее время [4]. Площадь современной субаэральной поверхности дельты не постоянна на различные временные срезы, в 2011 г. площадь составила 558 км<sup>2</sup>.

#### **Результаты и обсуждение**

В целом, морфогенез дельты начального этапа периода зарегулированности сопровождался активизацией русловой перестройки с закономерным изменением распределения стока. Роль главной протоки Харауз постепенно снижался, уступая транзит протокам Левобережная и Лобановская. Конец XX века по настоящее время характеризуется значительным снижением водности в селенгинском бассейне. Средний объем стока Селенги до начала 2000-х годов составлял 29 км<sup>3</sup>, в период 2000–11 гг. объем притока в Байкал снизился до 20 км<sup>3</sup>. Общее маловодье иногда прерывается подъемами водности, что отмечалось в летне-осенние паводки 2012 и 2013 годов.

Процесс внутридельтового распределения стока имеет сложный механизм. Важно выявить основные факторы, обуславливающие тенденции перераспределения стока. Безусловно, к ведущим факторам, в первую очередь, следует отнести сток воды и наносов в реке, морфометрические параметры русловой сети, уклон субаэральной дельты и колебания уровня приемного водоема. К этому перечню следует добавить и тектонический фактор, который имеет свои проявления сейчас и может в одно мгновение изменить дельту в целом.

Измеренные расходы воды в вершине дельты (2004–16 гг.) варьируют в значительных пределах: от 608 до 2794 м<sup>3</sup>/с (рис. 2), в зависимости от водности в бассейне. Летом 2012 и осенью 2013 годов наблюдались паводки, максимальные расходы в вершине дельты составили 2717 и 2794 м<sup>3</sup>/с.

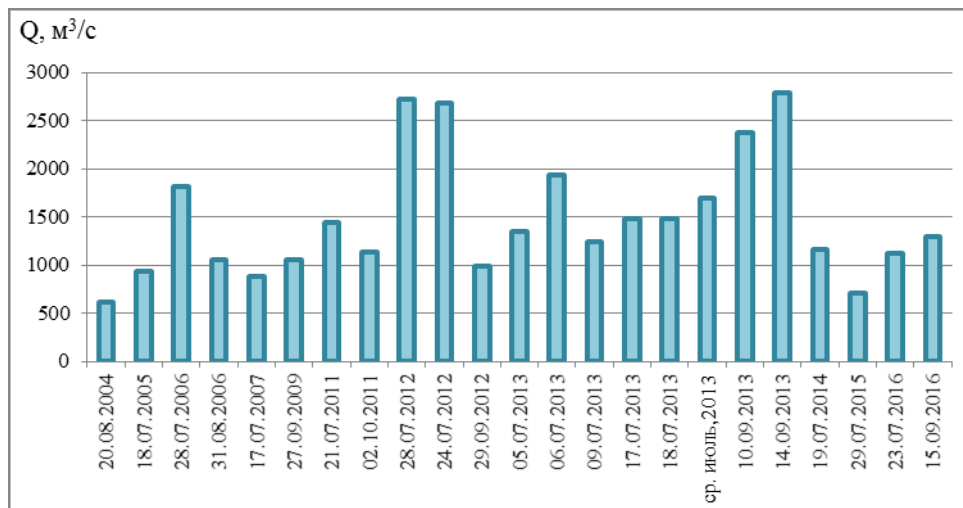
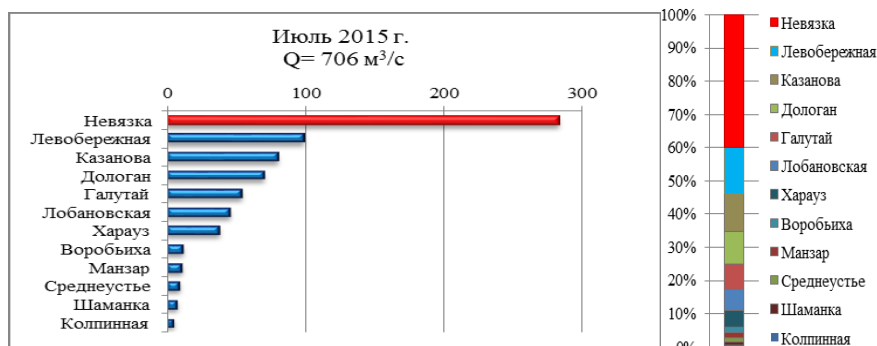


Рис. 2. Измеренные расходы воды в вершине дельты

Распределение стока по русловой сети при различной водности происходит неодинаково, изменяясь даже в течение небольшого промежутка времени одного года. За период наблюдений всегда выявляется невязка в балансе стока от нескольких процентов до более половины стока реки. Ведущую роль в распределении стока играют протоки с интенсивным эрозионно-аккумулятивным процессом: Левобережная, Дологан, Казанова (рис. 3).

При низкой водности (2004, 2015, 2017 гг.) сток в вершине дельты (ВД) составлял 618, 706 и 730 м³/с соответственно. В 2004 г. большие доли стока проходили по протокам Харауз и Дологан (24 -23 %), от 13 до 17 % стока принадлежало протокам Галутай, Лобановская, Левобережная. Небольшие протока Шаманка, Среднеустье и Колпинная пропускали менее 8 % суммарно. В 2015 г. сток распределился по русловой сети дельты относительно равномерно: 10-14 % стока прошло по протокам Левобережная, Казанова, Дологан. Сток по Лобановской и Хараузу снизился до 5-6 %. Незначительную долю стока имели небольшие протоки до 6 % суммарно. Невязка стока составила 40 %.



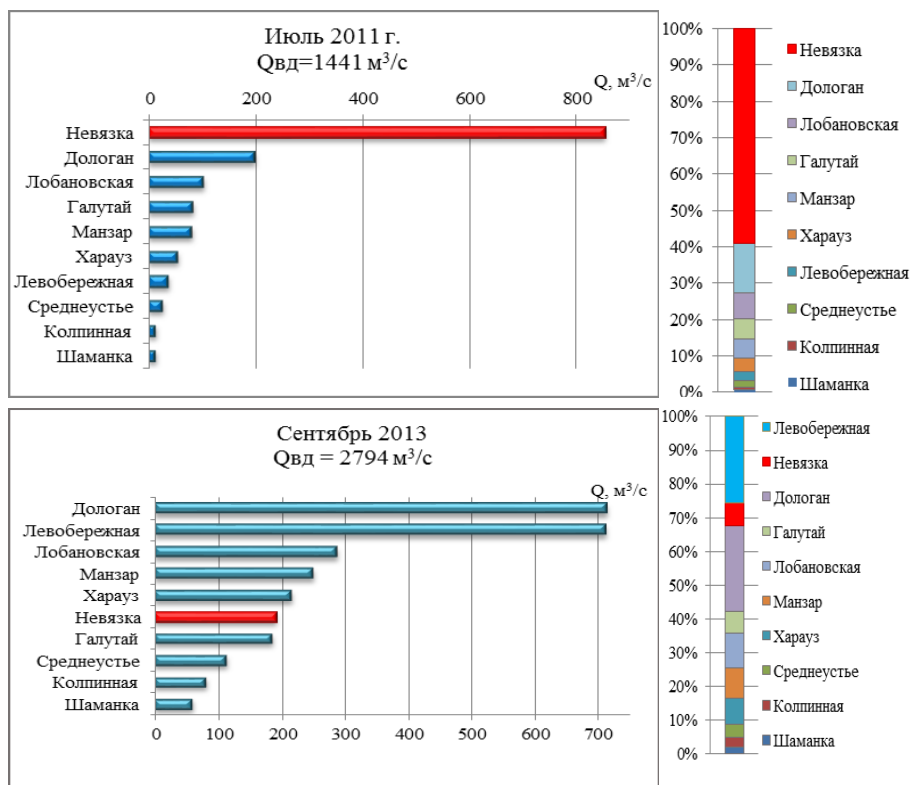


Рис. 3. Распределение стока воды по основным протокам дельты

Средний по водности сток наблюдался в июле 2011 и 2013 гг., расход воды в ВД составлял 1441 и 1482 м³/с. В 2011 году выявлена самая большая невязка в балансе стока (59 %), причиной которой послужила перестройка русловой сети в системе Харауз — Левобережная. Большую долю составил сток по Дологану и Лобановской. В июле 2013 г. по Левобережной прошло 29,5 % стока, по Дологану — 17,7 %, величина невязки составила почти 17 %, что сопоставимо с суммарным стоком Харауза и Галутая.

Наибольшие значения расходов воды в ВД наблюдались в июле 2012 и сентябре 2013 годов. Уровень воды в главном узле бифуркации достигал береговых бровок. В сентябре 2013 г. вода вышла на пойму, затопленными оказались многие острова и междуречья. В обоих случаях большая часть стока прошла по Дологану (17 — 25,4 %), сток Левобережной составил 9 — 25,4 %. Более десятой части стока прошло по Лобановской. Значение доли стока Харауза заметно снизилось и составило 4 — 7,7 %. Доля стока Галутая 6,5 — 7,1 %. По протокам Шаманка, Среднеустье, Колпинная сток составил 0,9 — 4 %.

Распределение стока в различные по водности годы во многом зависит от уклона водной поверхности от главного узла бифуркации к базису эрозии. Так, для большинства проток средний уклон составляет порядка 0,11 ‰, для протоки Левобережная — 0,14 ‰ (табл. 1).

Таблица 1

Уклон водной поверхности, ‰

Протока	2011	2013	2015	2016	2016
	июль	сентябрь	июль	июль	сентябрь
Левобережная	0,091	0,131	0,102	0,113	0,116
Харауз	0,080	0,115	0,089	0,099	0,101
Шаманка	0,084	0,121	0,094	0,104	0,107
Лобановская	0,079	0,114	0,088	0,098	0,100
Дологан	0,079	0,114	0,088	0,098	0,100
Казанова	0,105	0,152	0,118	0,285	0,134

Минимальные уклоны (0,07 ‰) для всей дельты наблюдались в 2011 и 2014 гг., максимальные (0,13 ‰) — в 2006, 2012 гг., максимальный уклон Левобережной составил в этот же период 0,18 ‰. Протока Левобережная в последние годы наиболее активная в Селенгинском секторе и в дельте в целом, благодаря наибольшим уклонам и спрямленности русла.

Выявляемая невязка, по-видимому, в многоводные годы связана с выходом воды из русел на пойму, а в маловодные периоды — невозможностью учета воды, задерживающейся в старицах, низкопорядковых руслах и перетоках. В отдельные годы невязка может составлять более 50 %, что наблюдалось в 2011 году, когда произошел перехват стока в новое русло протоки Левобережной. Подобная ситуация отмечена в случае перехвата стока из Лобановской в протоку Казанова.

**Распределение водного стока по секторам дельты р. Селенги**

За период экспериментальных работ распределение водности по секторам дельты в целом происходит относительно равномерно. Селенгинский и Лобановский секторы в среднем пропускают по 33 % общего стока, доля стока по Среднеустьевскому сектору не превышает 15%.

Анализ распределения стока по секторам дельты показал, что распределение в равных долях по краевым секторам дельты наблюдается при расходах в вершине дельты 1100, 1700 и 2000–3000 м<sup>3</sup>/с, соответственно по 40, 20, 35%. Через Среднеустьевский сектор проходит от 5 до 20% (табл. 2).

Таблица 2

Распределение стока по секторам (%) при различной водности

Расход ВД, м <sup>3</sup> /с	Селенгинский	Лобановский	Среднеустьевский
1100	40	40	~ 20
1700	>20	>20	~ 20
500-1000	↑35 — 40	↓50 — 40	< 20
1000-1500	↑35 — 45	↓ 40 — 35	~15
1500-2000	↑45 — 50	↓ 35 — 20	↓ 12 — 5
2000-3000	35	35	15
>3000	50	35	12

В маловодный год ведущее положение занимают протоки Лобановского сектора — до 50 % стока, протоки центральной части дельты (Среднеустьевский сектор) пропускают не более 20 % стока. При повышении расхода воды в Селенге до 2000 м<sup>3</sup>/с происходит рост доли стока в протоках Селенгинского сектора за счет снижения стока через Лобановский сектор. Во время высокой водности доля стока по русловой сети центрального сектора снижается, и главную роль в распределении стока играют протоки Селенгинского сектора, в первую очередь увеличивается доля стока Левобережной. Сток через Среднеустьевский сектор при различных условиях водности относительно стабилен (рис. 4).

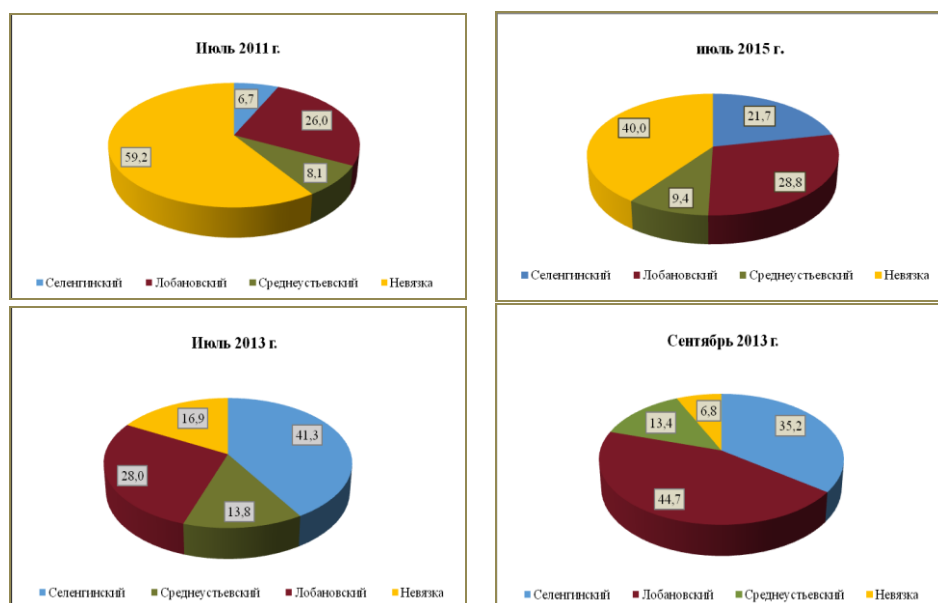


Рис. 4. Распределение стока по секторам дельты

В последние 10–15 лет доля стока по Селенгинскому сектору уменьшилась до 30 и редко 45%, и основной сток в этом секторе проходит по протоке Левобережная. Основное русло (Харауз) становится менее многоводным и сохраняет свое судоходное значение лишь благодаря постоянным дноуглубительным мероприятиям. Возросла роль Лобановского сектора — от 30 до 40%, где произошла существенная перестройка русловой сети в узле слияния Лобановская-Дологан, отчленение новой протоки Казанова, исчезновение проток низких порядков в средней и нижней части сектора. Сток Среднеустьевского сектора относительно стабилен до 15%.

#### Заключение

За период зарегулированности произошла существенная перестройка, как системы дельтовых водотоков, так и изменение морфометрии их русел. В период 2003–2016 гг. выявлена тенденция распределения стока по краевым рукавам Левобережная и Дологан, в отличие от ситуации 1971–1986 гг., когда основной сток был направлен в Основное русло (Харауз). В настоящее время происходит обмеление судоходной протоки Харауз в среднем течении. Основная причина связана



с образованием и активизацией протоки Левобережная, которой принадлежит существенная роль в перераспределении стока воды и наносов в секторе. Отмечается рост доли стока по протокам Дологан и Казанова в Лобановском секторе.

Анализ трансформации внутридельтового стока проведен для периода низкой водности в бассейне р. Селенги и отмечено, что распределение стока в целом имеет устойчивую направленность. Оценить эволюцию дельтовой экосистемы в условиях высокой водности или при изменениях внутригодового режима стока в речном бассейне и дать прогноз развития в настоящее время не представляется возможным из-за недостаточной обеспеченности фактическими данными о распределении стока в дельте.

### Литература

1. О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2014 году: государственный доклад. Иркутск: Росгеолфонд, 2015. 436 с.
2. Ильичёва Е. А., Гагаринова О. В., Павлов М. В. Гидролого-геоморфологический анализ формирования ландшафтов дельты реки Селенга // География и природные ресурсы, 2015. № 3. С. 85–93
3. Ильичева Е. А., Корытный Л. М., Павлов М. В. Русловая сеть дельты р. Селенги на современном этапе // Вестник Томск. гос. ун-та. 2014. № 380. С. 190–194.
4. Корытный Л. М., Ильичева Е. А., Павлов М. В., Амосова И. Ю. Гидролого-морфологический подход к районированию дельты р. Селенги // География и природные ресурсы. 2012. №3. С. 47–54.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1973. Т. 16. Вып. 3. 400 с.

### INTRADELTIC FLOW DISTRIBUTION OF THE SELENGA RIVER

*Elena A. Illicheva*

Senior Researcher, Candidate of Geographic Sciences,  
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS  
664033, Russia, Irkutsk, Ulan-Batorskaya str., 1  
E-mail: lenail3663@mail.ru

The runoff of the Selenga River is considered under regulation period of Lake Baikal. The tendency of decrease in water content in the Selenga river basin is shown. The comparison of flow distribution in the main channels and sectors of the delta is conducted in low, average and high water content periods. The discrepancy is identified in the balance of flow into the river network during observation period which is related to the geomorphological features of the subaerial delta. The study is based on a retrospective analysis of cartographic materials, an analysis of past years data and on results of 13 gauging stations, which are installed on the main channels of the delta and prolong profiling of the channels. Morphometric characteristics of the subaerial delta are presented. The main factors of deltaforming and runoff distribution are determined: water conditions, water and sediment runoff, sloping and channels morphometry, level regime of the receiving reservoir and tectonic manifestations. Dependence is shown for the last low-water period between the values of flow at the top of the delta, the Baikal level and the distribution of runoff by the delta sectors. To date, the trend of distribution of runoff along the marginal sectors of the delta is determined.

*Keywords:* river runoff, water discharge, river network, delta, Selenga, Baikal.

*References*

1. Gosudarstvennyiy doklad « O sostoyanii ozera Baykal i merah po ego ohrane v 2014 godu». — Irkutsk: Sibirskiy filial FGUNPP «Rosgeolfond», 2015. — 436 s.
2. IlichYova E. A., Gagarinova O. V., Pavlov M. V. Hidrologo-geomorfologicheskiy analiz formirovaniya landshaftov deltyi reki Selenga // *Geografiya i prirodnyie resursyi*, 2015. — № 3. — S. 85–93
3. Ilicheva E. A., Koryitnyiy L. M., Pavlov M. V. Ruslovaya set deltyi r. Selengi na sovremennom etape // *Vestn. Tom. gos. un-ta*. 2014. № 380. С. 190-194.
4. Koryitnyiy L.M., Ilicheva E.A., Pavlov M.V., Amosova I.Yu. Hidrologo-morfologicheskiy podhod k rayonirovaniyu deltyi r.Selengi // *Geografiya i prirodnyie resursyi*, 2012. — №3. — s. 47-54.
5. Resursyi poverhnostnyih vod SSSR. — L.: Gidrometeoizdat, 1973. — Т. 16. — vyip. 3. — 400 s.