

УДК 556.535.3:556.555.3

## ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В БАССЕЙНЕ РЕКИ СЕЛЕНГИ\*

© 2016 г. М.Г. Гречушникова<sup>1,2</sup>, К.К. Эдельштейн<sup>1</sup><sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Москва, Россия<sup>2</sup> ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», Москва, Россия

**Ключевые слова:** проектирование гидротехнического строительства, регулирование стока, водный баланс, водохранилище, техногенная трансформация гидрологического режима рек, экологические последствия.



К.К. Эдельштейн М.Г. Гречушникова

Представлена предварительная ориентировочная оценка вероятного изменения среднемноголетнего месячного стока р. Селенги при реализации различных вариантов строительства водохранилищ в монгольской части ее водосбора. Используются мелкомасштабные гидроклиматические карты Атласа мирового водного баланса в расчетах месячных составляющих водных балансов водохранилищ в планируемых створах гидроузлов на главной реке и на трех ее притоках. Оценена вероятная величина проточности каждого водохранилища и ожидаемая глубина регулирования ими речного стока. Рассмотрено влияние каждого гидроузла и совокупное воздействие сбросов воды на гидрологический режим Селенги после ввода в эксплуатацию проектируемой гидроэнергетической системы.

Проведены расчеты объемов водохранилищных водных масс в составе трансформированного месячного стока р. Селенги. Предложено наиболее благоприятное с экологической точки зрения проектное решение по расположению створов плотин электростанций, учитывающее неизбежность трансформации стока в нижнем течении р. Селенги, влияние этой трансформации на уровеньный

\* Работа выполнена при поддержке проекта ПРООН-ГЭФ «Прогнозная оценка долгосрочных изменений водного баланса в бассейне трансграничной реки Селенга в условиях климатических флуктуаций и изменения характеристик водопользования».

режим озера Байкал и его ихтиофауну. Рекомендовано на стадии предпроектных изысканий планировать сбор и анализ гидрометеорологической и топографической информации с учетом целесообразности ее использования в многовариантных прогностических расчетах межгодовых вариаций гидрологического режима водохранилищ. Детальные расчеты позволят количественно оценить не только изменчивость будущего водного режима Селенги, но и степень внутригодовых изменений качества ее воды.

Река Селенга – самый крупный приток оз. Байкал, ежегодный объем ее водного стока в среднем за многолетний период в 3,5 раза превышает сток второй по водоносности реки байкальского водосбора – Верхней Ангары [1]. Селенга образуется слиянием полугорных рек Дэлгэр-Мурэн и Идэр, площадь водосбора 447 тыс. км<sup>2</sup>, длина 1024 км [2].

Две трети площади водосбора Селенги расположено на территории Монголии, где формируется ее водный сток объемом 14,0–15,0 км<sup>3</sup> в год, что составляет 45–50 % суммарного объема стока реки, поступающего в Байкал. Водный режим рек Западной Монголии характеризуется низким весенним половодьем и дождевыми паводками в остальные сезоны. Средний расход воды Селенги вблизи государственной границы составляет 310 м<sup>3</sup>/с, а в 127 км от устья – 935 м<sup>3</sup>/с. Ледостав наблюдается с ноября по апрель. Регулярное судоходство осуществляется по реке до г. Сухэ-Батор, расположенного у места слияния Селенги с притоком Орхон. Дельта Селенги внесена в список уникальных природных объектов планетарной значимости, входит в центральную охранную зону Байкала, объявленного участком Всемирного наследия ЮНЕСКО.

В статье рассмотрены возможные последствия строительства четырех ГЭС, которые планируется возвести в долине Селенги и трех ее притоков для решения энергетических проблем Монголии. Сведения о проектных параметрах гидроузлов, предоставлены в докладе [3] по реализации проекта ГЭС Шурэн Министерства энергетики Монголии (табл. 1).

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Экспресс-оценка влияния строительства гидроузлов: Шурэн на р. Селенге, Орхон на ее правом притоке р. Орхон, Чаргайт на р. Дэлгер-Мурэн и Эгийн на ее левом притоке р. Эйгин-Гол, питающейся водами глубочайшего в Монголии оз. Хубсугул (рис. 1), состояла в определении изменения режима и объема стока Селенги и ее притоков вследствие возведения плотин и эксплуатации ГЭС. Для расчета составляющих водного баланса четырех проектируемых водохранилищ в верхних бьефах этих гидроузлов использованы мелкомасштабные карты (М: 1: 20 000 000) средних многолетних

величин атмосферных осадков и испарения с водной поверхности (испаряемости) из Атласа мирового водного баланса [4]. Осадки на участках территории водосбора Селенги, которые превратятся в акватории, изменяются от 400 (вдхр Чаргайт) до 300 мм/год (вдхр Орхон) Испаряемость изменяется в меньших пределах: от 590 до 630 мм/год соответственно.



**Рис. 1.** Расположение гидрометрических постов и проектируемых ГЭС в бассейне р. Селенги (по [5]).

Для расчетов внутригодовой трансформации стока воды гидроузлами сведения о стоке получены по данным наблюдений ближайших к створам проектируемых ГЭС Чаргайт, Эгийн, Орхон и Шурэн гидрологических постов [5] (табл. 1). Выполнена оценка изменения стока р. Селенги и ее притоков при строительстве водохранилищ. Для воднобалансовых оценок использованы среднемноголетние данные и наблюдения на постах УГМС России и Монголии, предоставленные Байкальским институтом природопользования СО РАН, Институтом метеорологии и гидрологии МАН (Монголия).

По сравнению с периодом 1975–1995 гг., в 1996–2011 гг. сокращение стока на некоторых постах составило: Улан-Батор – 2,4 раза; Орхон – 2,9; Сухэбатор – 1,6 раз. В бассейнах левых притоков Селенги (Эйгин-Гол, Дэлгэр-Мурэн, Джида) данного явления не наблюдалось, а для ее истока – р. Идэр и правых притоков подобное сокращение стока выражено существенно. Возможно, частично это связано с усилением антропогенного воздействия и увеличением безвозвратных потерь стока при использовании в промышленности, сельском хозяйстве и коммунально-бытовом водоснабжении. Достоверные данные об этом отсутствуют. Однако воднобалансовая оценка выполнена, тем не менее, с использованием рядов стока максимальной длины, включающих многоводные и маловодные фазы.

По данным о внутригодовом изменении стока воды на постах рассчитаны доли среднемесячного стока для оценки его трансформации гидроузлами (табл. 2). При отсутствии сведений о внутригодовом распределении использованы следующие аналоги: для р. Идэр (г/п Зурх) – р. Дэлгэр-Мурэн (с. Мурэн), для р. Эйгин-Гол (с. Хантай), испытывающей регулирующее влияние оз. Хубсугул, – р. Орхон (пост Сухэбатор с наиболее равномерным внутригодовым распределением стока). Наибольшей внутригодовой неравномерностью стока воды отличаются реки Джида и Туул (другое название Тола).

Для оценки внутригодовой трансформации стока водохранилищами необходимо иметь сведения о их полезном объеме, правилах эксплуатации каждого гидроузла, пропускной способности. При отсутствии этих данных примем, что полезный объем  $W_{\text{п}}$  (т. е. регулирующая емкость) составляет 1/3 от общего объема водохранилища  $W$  (табл. 1). Исходя из предположения, что основная цель гидротехнического строительства – выработка электроэнергии, допустим, что сброс воды в нижний бьеф будет происходить следующим образом: наибольшее опорожнение водохранилищ придется на теплый период до начала интенсивного притока – обычно, по данным постов, к началу апреля. Наименьший сброс в нижний бьеф не будет ниже минимального среднемесячного естественного притока воды в водохранилище, который приходится на февраль (табл. 3).

Максимальный объем в водохранилище будет накоплен после периода наибольшей водности (к сентябрю-октябрю) для равномерного сброса в маловодный холодный период при условии непревышения полного объема воды  $W$ , поскольку объем водохранилищ при форсированном подпорном уровне (ФПУ) неизвестен. Таким образом для каждого месяца решено простейшее уравнение для определения объема воды на конец месяца  $W_{\text{к}}$  без учета водообмена с атмосферой, поскольку видимое испарение составляет от 1 до 4 % суммы годового притока (табл. 1), и этой составляющей на

**Таблица 1.** Сведения о характеристиках проектируемых водохранилищ в бассейне р. Селенги и среднегодовых значениях составляющих их водного баланса

Название ГЭС	Исходные проектные данные						Результаты оценочных расчетов					
	Мощность, МВт	Площадь вадхр, км <sup>2</sup>	Объем вадхр, км <sup>3</sup>	Река (ближайший пост)	Средне-годовой расход реки на посту, м <sup>3</sup> /с	Объем притока, км <sup>3</sup> /год	Коэффициент дообмена $K_b = V/W$ , год <sup>-1</sup>	Тип регулирования	Осадки на вадхр, м <sup>3</sup> /год [4]	Испарение с вадхр, км <sup>3</sup> /год [4]	Сброс воды ГЭС, км <sup>3</sup> /год	
Чаргайт	24,6	43	1,09	Дэлгэр-Мурэн (с. Мурэн)	35	1,10	1,01	Многолетнее	0,017	0,025	1,10	
Эгийн	315	125	4	Эгийн-Гол (с. Хангай)	90,3	2,85	0,71	Многолетнее	0,044	0,076	2,82	
Орхон	100	60	0,7	Орхон (с. Орхон)	39,6	1,25	1,78	Многолетнее	0,018	0,038	1,23	
Шурэн	245	203	3,3	Селенга (с. Зуунбуурэн)	212	6,69	2,03	Сезонное	0,071	0,123	6,63	

Таблица 2. Доля среднего месячного стока (% от годовой суммы) на постах в бассейне р. Селенги

Река (пост)	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Селенга (с. Хутаг)	1,5	1,4	2	7,6	14,7	13,4	16,4	17	12,2	7,5	4,1	2,1
Селенга (с. Зуунбурун)	1,6	1,3	1,8	8,5	12,1	11,2	13,6	17,6	14	10,5	5,4	2,3
Дэлгэр-Мурэн (с. Мурэн)	0,6	0,5	0,7	2,8	20,2	16,8	18,9	17,1	12,7	6,7	2,0	0,9
Орхон (с. Орхон)	0,4	0,3	1,6	8,6	8,1	10,8	20,6	19,7	14,4	9,4	4,6	1,5
Орхон (г. Сухэбатор)	0,6	0,4	0,8	6,8	10,9	12	17,6	19,4	16,4	9,9	4,0	1,2
Туул (г. Улан-Батор)	0	0	0,2	2,4	9,6	14,4	24,2	24,9	17,2	5,6	1,3	0,1
Джида (ст. Джида)	1,0	1,0	1,0	3,8	5,8	8,5	21,0	26,8	19,1	8,0	2,8	1,2
Темник (улуус Улан-Уаунга)	0,6	0,5	0,5	4,7	13,6	17,5	18,3	18,5	14,3	7,3	2,9	1,3
Чикой (с. Поворот)	1,3	0,9	0,8	4,3	11,8	11,3	18	19,5	16,5	10,2	3,3	2,1
Хилок (з. Хайластуй)	0,8	0,4	0,5	5,6	17	12,1	15,6	17,3	14,7	10,4	3,8	1,8
Оронгой (Оронгойский мост)	2,1	1,4	2,1	6,7	19,9	20,3	12,4	9,9	9,1	7,8	5,0	3,3
Уда (г. Улан-Уде)	1,8	1,5	2,1	6,8	14,3	12	13,7	14,8	14,8	10,8	4,6	2,8
Итанца (с. Турунгаево)	2,5	1,8	2	7,1	15	13,8	13,8	13,5	11,8	9,6	5,3	3,8

**Таблица 3.** Результаты оценочного расчета втекающего и вытекающего из водохранилищ среднего месячного объема речной воды при эксплуатации проектируемых гидроузлов, км<sup>3</sup>/мес

Сток	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Чаргайт ГЭС												
Приток	0,007	0,006	0,008	0,032	0,234	0,188	0,218	0,198	0,142	0,077	0,023	0,010
Сброс	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,14	0,14	0,13	0,10	0,10	0,09
Эгийн ГЭС												
Приток	0,019	0,013	0,027	0,210	0,344	0,377	0,553	0,610	0,517	0,313	0,126	0,038
Сброс	0,30	0,30	0,28	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Орхон ГЭС												
Приток	0,005	0,004	0,020	0,106	0,103	0,133	0,263	0,252	0,178	0,119	0,056	0,019
Сброс	0,08	0,07	0,07	0,07	0,09	0,11	0,18	0,18	0,17	0,13	0,08	0,08
Шурэн (при отсутствии ГЭС Чаргайт и Эгийн)												
Приток	0,111	0,088	0,119	0,557	0,822	0,731	0,921	1,195	0,915	0,712	0,353	0,157
Сброс	0,35	0,35	0,35	0,35	0,40	0,50	0,70	1,00	0,95	0,65	0,40	0,35
Шурэн (при работе ГЭС Чаргайт и Эгийн)												
Приток	0,465	0,449	0,456	0,606	0,585	0,506	0,540	0,777	0,636	0,673	0,554	0,448
Сброс	0,70	0,65	0,60	0,30	0,30	0,40	0,40	0,50	0,50	0,60	0,70	0,70



данном этапе оценки допустимо пренебречь. Расчет производили последовательно для каждого месяца, начиная с апреля при начальном объеме

$W_H = W - W_{\Pi}$ , при контроле переполнения водохранилища:

$W_K = W_H + W_{\text{притока}} - W_{\text{сброса}}, W - W_{\Pi} < W_K < W$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным о проектируемых объемах водохранилищ и суммарном притоке в каждое из них получено, что согласно значениям коэффициента водообмена  $K_v$  водохранилища Эгийн, Чаргайт и Орхон смогут осуществлять многолетнее регулирование стока, а водохранилище Шурэн – сезонное регулирование (табл. 1). В результате увеличения потерь воды на испарение в речной системе при образовании водоемов (без учета потерь стока на их наполнение), сток зарегулированных рек сократится в сумме за год на 0,11 км<sup>3</sup> (Эгийн-Гол – на 0,03 км<sup>3</sup>, Дэлгэр-Мурэн – на 0,01 км<sup>3</sup>, Орхон – на 0,02 км<sup>3</sup>, Селенга – на 0,05 км<sup>3</sup>), что составляет не более 0,5 % от величины среднегодового стока Селенги вблизи устья по данным поста Мостовой, а именно 0,38 % при среднегодовом расходе воды 918 м<sup>3</sup>/с в данном створе за 1934–2009 гг. и 0,5 % при среднегодовом расходе воды 690 м<sup>3</sup>/с за 1996–2009 гг.

Проектом гидроэнергетической системы также планируется переброска стока из бассейна р. Орхон для водоснабжения добывающих производств на юго-востоке страны в виде трубопровода с расходом воды порядка 2,5 м<sup>3</sup>/с. Это увеличит потери стока р. Орхон на 0,08 км<sup>3</sup>/год, а в целом потери с учетом видимого испарения составят 0,7–0,9 % стока Селенги в устье.

В верхнем слое толщиной 100 м оз. Байкал содержится 2895 км<sup>3</sup> воды, среднегодовой объем притока Селенги составляет 29 км<sup>3</sup>/год при среднегодовом расходе воды 918 м<sup>3</sup>/с. Таким образом, при увеличении потерь стока на испарение с проектируемых водохранилищ и водозаборе в трубопровод при указанных выше величинах снижение уровня воды в Байкале составит максимум 1 см/год.

При тех же допущениях выполнена оценка трансформации стока проектируемыми гидроузлами (табл. 3). Особо рассмотрены ситуации регулирования стока водохранилищем Шурэн: вариант 1 – при отсутствии водохранилищ Чаргайт и Эгийн; вариант 2 – при зарегулировании стока этими гидроузлами. В варианте 2 принципиально изменится внутригодовое распределение притока воды к гидроузлу Шурэн. Согласно [6], в створе реки, где расход воды становится соизмеримым с удвоенным расходом сброса ГЭС, в речном русле происходит превращение основной водной массы (ОВМ) водохранилища в трансформированную речную водную массу (ТВМ), главным очагом формирования которой становится часть бассейна речной системы, расположенная ниже створа гидроузла. За счет поступле-

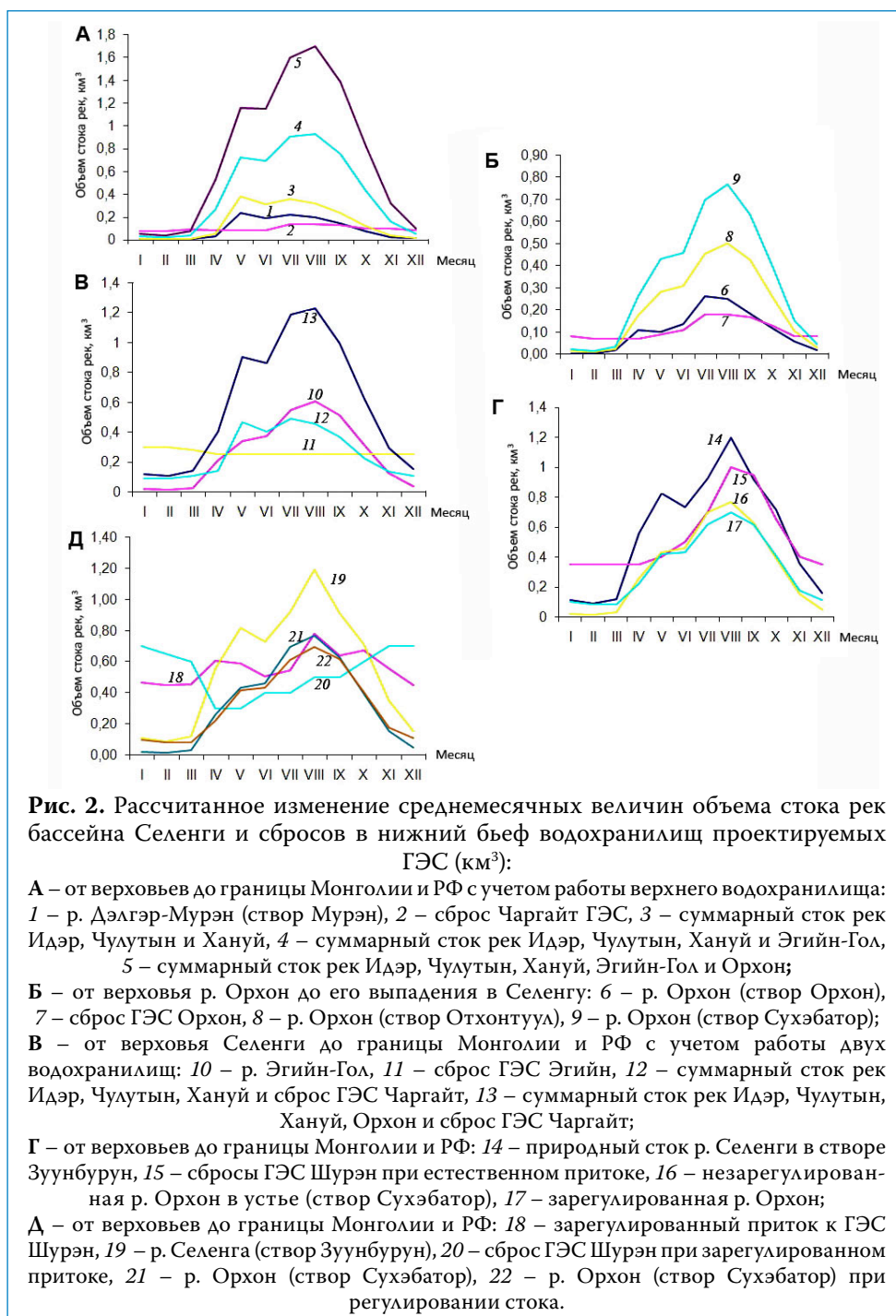


ния воды незарегулированных притоков, несущих характерные для данной зоны водные массы, постепенно восстанавливается водный, термический, химический режим зарегулированной реки и сток наносов.

Потенциальное изменение режима стока Селенги в результате эксплуатации гидроузла Чаргайт будет нивелировано в теплый период суммарным стоком рек Идэр, Чулутын и Хануй, однако сток за период с октября по апрель увеличится из-за низкого стока этих рек в зимнюю межень. Впадение в Селенгу вод р. Эгийн-Гол будет способствовать восстановлению естественного режима стока главной реки в теплый период года, а с декабря по март сток воды в Селенге с учетом регулирования в 2–3 раза превысит среднемноголетние значения. Впадение р. Орхон восстановит зональные характеристики стока воды Селенги, однако в январе-марте удвоения стока воды так и не произойдет (рис. 2А). Следовательно, у границы с Российской Федерацией работа гидроузла Чаргайт будет проявляться в увеличении низкого зимнего стока воды в период с января по март.

Последствия сооружения гидроузла Эгийн следует рассмотреть с учетом зарегулирования р. Дэлгэр-Мурэн. Водоохранилище Эгийн по проекту имеет наибольший полный (соответственно, и полезный) объем из всех четырех проектируемых водохранилищ, следовательно при опорожнении регулирующей емкости перед наступлением многоводного периода водных ресурсов будет достаточно для обеспечения равномерного сброса воды для наполнения этого водоема до НПУ и последующей сработки. Суммарный приток рек, формирующих сток Селенги выше впадения р. Эгийн-Гол, превышает потенциальный сброс ГЭС только в период с мая по сентябрь. В остальные месяцы сброс воды через ГЭС значительно превысит естественный сток в маловодную межень. Зональные характеристики стока сохранятся более длительный период – с апреля по октябрь, в остальные пять месяцев сброс Эгийн ГЭС может превышать суммарный сток притоков Селенги, формирующих ее сток до граничного створа (рис. 2Б). При вводе в эксплуатацию гидроузлов Чаргайт и Эгийн низкий зимний сток Селенги на границе с РФ увеличится в 2–3 раза, а уменьшение стока будет наиболее существенным (20–30 %) в августе-сентябре.

Для оценки возможных изменений стока р. Орхон после сооружения гидроузла выше впадения р. Туул сток последней рассчитан по разнице величин стока в створах Орхон и Орхонтуул, поскольку створ Улан-Батор находится в 547 км от узла слияния. Ниже имеется относительно крупный приток (рис. 1), и данные по нему использованы для расчета внутригодового стока р. Туул. При впадении притока Туул водность реки в створе Орхонтуул увеличивается в два раза по сравнению со створом Орхон (рис. 2В). Река Туул приносит объем воды, соизмеримый со стоком с гидроузла за период



с апреля по октябрь. В устье р. Орхон (створ Сухэбатор) сток за теплый период за счет впадения притоков в несколько раз может превысить сброс проектируемой ГЭС, но с декабря по февраль сбросы ГЭС Орхон будут в 2–4 раза превышать природный зимний меженный сток. Гидроузел Орхон при одиночном воздействии увеличит зимний сток Селенги на 0,03–0,06 км<sup>3</sup>/мес (15–20 %) и уменьшит сток в июле–сентябре (максимально в августе на 0,18 км<sup>3</sup>/мес, или 8 %). Суммарное воздействие трех гидроузлов – Чаргайт, Эгийн и Орхон – существенно сократит размах колебаний среднемесячных величин стока Селенги у границы России и Монголии с 1,95 до 0,96 км<sup>3</sup>/мес, увеличив зимний меженный сток в 2–3 раза и сократив максимальный летний в 1,5 раза.

Проанализируем возможную трансформацию стока Селенги при строительстве ГЭС Шурэн в ее долине. Расчеты выполнены на основе характеристик, указанных в табл. 1, хотя монгольской стороной рассматриваются несколько вариантов местоположения ГЭС. Удвоение зарегулированного стока Селенги при впадении в нее р. Орхон, имеющей природный гидрологический режим, произойдет в мае–июле, а с учетом его регулирования – только в мае, следовательно, восстановление зональных характеристик стока к граничному створу сомнительно (рис. 2Г).

Рассмотрим влияние притоков Селенги на территории РФ с учетом стока рек Джиды и Орхон в природном и зарегулированном режиме. Превышение стока ниже ГЭС Шурэн произойдет только в мае–сентябре. При впадении наиболее полноводных притоков Чикой и Хилок превышение притока ниже гидроузла над сбросом возможно уже в апреле–октябре, однако зимний сток остается сильно трансформированным: сброс ГЭС в 2,3–2,7 раза может превышать суммарный сток притоков от Орхона до Хилока.

Суммарного стока всех притоков Селенги на территории РФ с января по март будет недостаточно для двойного разбавления воды водохранилища, и в русле реки будет протекать водохранилищная водная масса, несколько трансформированная речными водами, поэтому характеристики ее состава будут отличными от наблюдаемого в настоящее время природного.

В случае регулирования части стока с водосбора Селенги в бассейнах рек Дэлгэр-Мурэн и Эгийн-Гол приток к гидроузлу Шурэн будет весьма отличаться от естественного (табл. 3, рис. 2Д): в среднем в 1,4 раза ниже за период с мая по октябрь и в 3 раза выше в остальной период. Таким образом внутригодовая неравномерность стока Селенги в районе створа Зуунбурен при регулировании двух ее притоков существенно уменьшится. Изменится при этом и возможный сброс ГЭС Шурэн, поскольку не возникнет необходимости в значительном увеличении холостых сбросов в период максимального стока, который будет сокращен при регулировании. При транс-

формированном притоке к гидроузлу возможен наибольший сброс воды в наиболее энергодефицитный зимний период, что более значительно трансформирует режим стока воды Селенги ниже по течению в период с декабря по март, чем в первом варианте.

Возможные изменения водного режима стока Селенги в устье (створ Мостовой) после строительства водохранилищ представлены в табл. 4. Учет влияния ГЭС Орхон незначительно меняет общую картину, поскольку наибольшую трансформацию, все же, вносит регулирование стока главной реки. В итоге эксплуатация гидроузла энергетического назначения в варианте 1 будет уменьшать внутригодовые колебания стока реки в 1,12–1,15 раза, сокращая максимальный среднемесячный сток на 5–6 % и увеличивая минимальный зимний на 57–63 %. В варианте 2 сокращение максимального среднемесячного стока составит 14–15 %, а увеличение минимального зимнего стока 73–75 %. Несмотря на то, что две трети стока Селенги формируется на территории Российской Федерации, влияние регулирования на изменение внутригодового режима стока будет существенным, особенно в зимний период.

Помимо изменений водного режима необходимо учесть изменения условий местообитания и размножения рыб оз. Байкала – Всемирного наследия ЮНЕСКО. Данные по рыбам бассейна Селенги обобщены в монографиях [7, 8] советско-монгольского коллектива исследователей. Ихтиофауна верховьев притоков Селенги представлена видами сибирского реофильного комплекса – голец, сибирский хариус, ленок, таймень, обыкновенный голянь. В среднем течении основного русла Селенги и в среднем течении р. Орхон к доминантам добавляется елец, в субдоминантах – голянь и таймень. Выявлено заметное отличие видового состава рыб р. Туул и нижнего течения Орхона, где отсутствуют лососеобразные, а доминантами являются елец и карась. Аналогичная ситуация зафиксирована в нижнем течении Ероо-Гол, где отсутствовал даже голец и до 90 % ихтиофауны представлено ельцом. Выявленное снижение видового разнообразия и отсутствие в составе ихтиофауны на этих участках оксифильных видов рыб-реофилов вызвано ухудшением гидрологических и гидрохимических условий вследствие антропогенной нагрузки.

Запасы байкальского омуля промышленно эксплуатируются более двух столетий. Главным местом обитания омуля считается Байкал, где выделяют несколько экологических форм омуля, которые различаются местообитанием, сроками и местом нереста [9]. В самом крупном притоке Байкала – Селенге нерестится пелагический омуль, быстрорастущий и созревающий за 7–8 лет. Он обитает в пелагиали Байкала, во время нереста поднимается вверх по реке на сотни километров. Омуль – проходная осенне-

**Таблица 4.** Результаты оценочного расчета вероятного изменения природных среднесуточных величин стока в устье р. Селенги при различных вариантах проекта гидротехнической системы, км<sup>3</sup>/мес

Возможные варианты регулирования стока	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Природный сток Селенги (п. Мостовой)	0,32	0,22	0,26	1,52	3,73	3,57	4,73	5,38	4,73	2,86	0,86	0,50
Суммарный сток ГЭС Шурэн (вариант 1) и притоков Селенги ниже до устья (без Орхон ГЭС)	0,59	0,52	0,55	1,46	3,00	2,99	4,42	5,12	4,37	2,75	1,17	0,75
Суммарный сток ГЭС Шурэн (вариант 1), регулируемого стока Орхона и притоков Селенги до устья	0,66	0,59	0,60	1,42	2,99	2,96	4,33	5,05	4,36	2,76	1,19	0,81
Суммарный сток ГЭС Шурэн (вариант 2) и притоков Селенги ниже до устья (без Орхон ГЭС)	0,94	0,82	0,80	1,41	2,90	2,89	4,12	4,62	3,92	2,70	1,47	1,10
Суммарный сток ГЭС Шурэн (вариант 2), регулируемого стока Орхона и притоков Селенги до устья	1,01	0,89	0,85	1,37	2,89	2,86	4,03	4,55	3,91	2,71	1,49	1,16

нерестующая рыба. Нерестовый ход в реки начинается при относительном выравнивании температуры воды на приустьевых участках Байкала и нерестовых реках в августе (10–13 °С) и сентябре (3–4 °С). Влияние сброса воды из водохранилищ на ее температуру в нижнем течении обычно имеет локальный характер из-за восстановления речного термического режима при теплообмене с атмосферой в пределах десятков километров для крупных гидроузлов, поэтому в отношении сроков нерестового хода регулирование заметных временных сдвигов не вызовет.

Принципиально иное значение имеет факт строительства гидроузла в основном русле реки в 550–600 км от устья. Это означает, что доступными для нереста окажутся только притоки на российской территории и низовья речной сети водосбора Орхона в случае строительства ГЭС Орхон. Эти реки сильно загрязнены и населены менее ценными видами рыб. Следовательно, наибольший урон воспроизводству ценной ихтиофауны нанесет именно строительство гидроузла Шурэн. Наименьшее воздействие на сток Селенги и нерестовую миграцию омуля будет в случае сооружения водохранилищ ГЭС Чаргайт и Орхон. Потенциально перспективным считаем возведение ГЭС Орхон, т. к. ее водохранилище может быть источником для обводнения региона развивающейся промышленности. При этом следует рассмотреть возможность увеличения его полезной емкости и мощности ГЭС для частичной компенсации энергопотерь при отказе от сооружения ГЭС Шурэн. Водоохранилище Орхон могло бы использоваться и для разбавления залповых загрязнений, поступающих со стоком рек Туул, Ероо и Хангал в Орхон и далее в Селенгу. В отношении регулярно поступающих загрязнений существенное разбавление будет происходить только в холодный период, когда сброс воды из водохранилища может значительно превышать сток р. Туул. Именно в маловодную зимнюю межень влияние загрязнений наиболее экологически негативно.

Подводя итог выполненным многовариантным воднобалансовым расчетам, результаты которых представлены в таблицах и на рис. 2, считаем возможным рекомендовать следующее.

В предстоящих предпроектных изысканиях сконцентрировать геологическую топографические работы, гидрометрические и химико-биологические наблюдения в долине Орхона с целью назначения дополнительных створов для создания гидроэнергетического каскада водохранилищ. Его сооружение позволит отказаться от проектирования гидроузла Шурэн, сооружение которого особенно экологически неблагоприятно в отношении охраны качества воды и омулевого стада оз. Байкал. Орхонский каскад, возможно, сможет увеличить глубину многолетнего регулирования стока (взамен сезонного водохранилищем Шурэн) и полностью сгладить внутрисуточную



неравномерность попусков ГЭС, неблагоприятную для нерестовых миграций рыб. Появится возможность ГЭС заменить каскадом ГАЭС в сочетании с ветровыми электростанциями и полигонами аккумуляции солнечной энергии, используя опыт, например, крупного гидроузла Алкева в Португалии. Всемерное замедление в каскаде стока Орхона не только увеличит самоочищение его вод от загрязнений в промышленно развитом регионе, но и углубит регулирование водного стока всей проектируемой Селенгинской гидротехнической системы, что благоприятно для стабилизации внутригодовых колебаний уровня воды в Байкале и сохранности объекта всемирного наследия.

В планах предпроектных изысканий учесть необходимость обеспечения прогностических воднобалансовых и гидроэкологических расчетов достаточно детальной морфометрической, круглогодичной гидролого-метеорологической и химико-гидробиологической информацией. Перечень такой информации имеется, например, в монографии [10], посвященной использованию воднобалансовой двумерной боксовой математической модели ГМВ-МГУ для подобных расчетов при проектировании и эксплуатации исключительно сложной Волжско-Москворецкой водохозяйственной системы водообеспечения Москвы. По назначению и структуре эта модель сходна с широко распространенной за рубежом гидродинамической моделью CE-QUAL W2 [11]. По таким моделям возможно воспроизводить ежесуточные изменения экологического состояния водных масс в водохранилищах и режим их сброса через гидроузел в речную сеть. Сопоставление результативности диагностических расчетов по моделям [10, 12] показало практически одинаково хорошую воспроизводимость гидрологического режима типично долинного Можайского водохранилища. Но для прогностических расчетов предпочтительней ГМВ-МГУ [13], особенно оснащенная подблоком ветровых течений [14]. Для нее, в отличие от CE-QUAL W2, не требуются значительное упрощение формы ложа водохранилища и подбор значений нескольких корректирующих расчет коэффициентов (турбулентной диффузии, турбулентной вязкости, коэффициента Шези и др.) [11, 12]. ГМВ-МГУ может стать инструментом для прогноза изменения экологических характеристик селенгинской трансформированной воды, которая будет поступать в Байкал не в среднем за многолетний период, а в периоды наиболее неблагоприятных условий водного и метеорологического режима в бассейне Селенги. Для более точной оценки экологических последствий гидростроительства необходимы существенно более полные проектные сведения о морфометрии водохранилищ и их планируемом полезном объеме, о конструкции и параметрах водопропускных сооружений на каждом гидроузле, максимальной пропускной способности водосливов.



Без перечисленных сведений невозможно рассчитать пропуск половодья и паводков, дать исчерпывающую оценку внутрigoдовой трансформации стока во всей гидрографической сети р. Селенги.

### ВЫВОДЫ

Воднобалансовыми расчетами установлено, что наиболее крупное из планируемых водохранилищ в монгольской части бассейна р. Селенги сможет выполнять лишь сезонное регулирование ее стока, в то время как три водохранилища меньшего размера на ее притоках будут способны осуществлять многолетнее регулирование. Они более предпочтительны в бассейне со стоком, формирующимся преимущественно дождевыми осадками, ненадежно предсказуемыми по объему, максимальным расходам воды и частоте паводков. Наиболее негативным в рассмотренном проекте представляется изоляция русла Селенги плотиной гидроузла Шурэн от верховий речной системы с наименее загрязненными притоками – местами нереста рыб наиболее ценных пород.

Публикуемая предварительная экспертная оценка возможного изменения водного режима р. Селенги должна уточняться по мере накопления данных предпроектных изысканий, которые могли бы служить исходной информацией для модельных расчетов не только водного режима техногенно преобразуемой речной системы, но и гидроэкологических характеристик трансформирующихся в водохранилищах водных масс, доминирующих в зимнем питании оз. Байкал речным стоком.

*Авторы благодарят директора Байкальского института СО РАН Е.Ж. Гармаева и профессора Института метеорологии и гидрологии МАН Г. Даваа за предоставленные данные о стоке рек бассейна Селенги.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shimaraev M.N., Verbolov V.I., Granin N.G., Sherstyankin P.P.* Physical limnology of Lake Baikal: A Review / Edited by Dr. M.N. Shimaraev, Dr. S. Okuda. Irkutsk – Okayama. 1994. 81 p.
2. *Иванов В.В.* Селенга // Реки и озера мира. Энциклопедия. М.: ООО «Энциклопедия», 2012. С. 619–620.
3. Сведения о проектных параметрах гидроузлов ГЭС Шурэн на р. Селенга. Режим доступа: <https://independent.academia.edu/YondongomboGendensuren> (дата обращения 10.07.2015)
4. Атлас мирового водного баланса. М.–Л.: Гидрометеиздат, 1974. 64 л.
5. *Гармаев Е.Ж., Христофоров А.В.* Водные ресурсы рек бассейна озера Байкал: основы их использования и охраны. Новосибирск: Гео, 2010. 301 с.
6. *Эдельштейн К.К.* Гидрология материков. М.: ИЦ «Академия», 2005. 304 с.
7. Рыбы Монгольской Народной Республики. М.: Наука, 1983. 276 с.
8. Экология и хозяйственное значение рыб МНР. М.: Наука, 1985. 199 с.

9. Смирнов В.В., Шумилов И.П. Омули Байкала. Новосибирск: Наука, 1974. 160 с.
10. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз) / под ред. К.К. Эдельштейна. М. Изд-во «Перо», 2015. 286 с.
11. Cole T.M., Wells S.A. CE-QUAL W2: A Two-Dimensional Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, version 3.7. Portland: Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, 2011. 768 p.
12. Аракельянц А.Д. Расчет гидрологического режима Можайского водохранилища по двумерной гидродинамической модели CE-QUAL W2 // Тр. V Междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов», Т 1. Пермь: Пермский гос. нац. исслед. ин-т, 2015. С. 3–7.
13. Пуклаков В.В. Гидрологическая модель водохранилища (руководство для пользователей). М.: ГЕОС, 1999. 96 с.
14. Пуклаков В.В., Пуклакова Н.Г., Эдельштейн К.К. Моделирование гидрологического режима Рыбинского водохранилища на основе синтеза боксовой вертикальной и двумерной горизонтальной моделей // Бассейн Волги в XXI веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ. Мат-лы докл. всеросс. конф. Ижевск: Изд. Пермьяков, 2012. С. 229–231.

#### **Сведения об авторах:**

Гречушникова Мария Георгиевна, канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, кафедра гидрологии суши, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы; научный сотрудник, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук» (ИВП РАН), Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3; e-mail: allavis@mail.ru

Эдельштейн Константин Константинович, д-р геогр. наук, профессор, кафедра гидрологии суши, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы; e-mail: emek05@mail.ru