



УДК 627.81(517.3):528.9

Картографическое моделирование каскада водохранилищ в бассейне реки Селенги (Монголия). Предварительные результаты

К. Г. Леви

*Институт земной коры СО РАН
Иркутский научный центр СО РАН*

А. И. Мирошниченко

Институт земной коры СО РАН

Аннотация. В 2011 г. были начаты общественные слушания по проблеме строительства ряда гидротехнических сооружений на территории Монголии, и в частности в бассейне р. Селенги. В эти дебаты включилась и международная общественность. Обсуждавшиеся материалы носили противоречивый характер, и, соответственно, обсуждения тоже носили противоречивый характер. В документах, приводимых в списке литературы, были заложены различные цифровые оценки размеров затопляемых долин рек, объемы водохранилищ и т. п. Не были приведены координаты планируемых к строительству дамб и пр. У авторов возник неподдельный интерес к этим будущим инфраструктурным объектам, и потому была сделана попытка их моделирования на основе картографии. Ниже рассмотрены предварительные результаты картографического моделирования водохранилищ в бассейне р. Селенги (Монголия). Приводятся морфометрические характеристики рек и возможных будущих водохранилищ. Рассматриваются погодно-климатические изменения в районе озер Северной и Прихангайской Монголии и Российского Алтая. Выполнены качественные оценки возможного экологического ущерба с привлечением дополнительных материалов по сейсмичности региона, составу осадочных пород, выполняющих долины рек. Высказаны предостережения о возможных объемах экологического ущерба для территории Монголии.

Ключевые слова: картографическое моделирование, водохранилище, озерные водоемы, морфометрия, погодно-климатические изменения, дендрохронология.

Введение

Размышления на тему строительства гидроэнергетических сооружений в бассейне р. Селенги на территории Монголии бродили в умах монгольского правительства уже в 60-х гг. прошлого века, но до реализации этих идей дело так и не дошло. В 2011 г. эта идея получила новое рождение, вылившееся в различные общественные слушания и предварительные оценки вероятных экологических последствий для р. Селенги и оз. Байкал. История вопроса детально рассмотрена в [15; 20]. При этом, однако, забыли, а Между-

народная экологическая коалиция «Реки без границ» напомнила, что «Монголия не выполнила заключенные в 2005–2008 гг. договоренности с Россией о создании *совместной концепции управления охраны бассейна р. Селенги и об участии российских специалистов в оценке воздействий* в ходе создания технико-экономического обоснования (ТЭО) ГЭС в бассейне р. Селенги, которая является крупнейшим притоком Байкала. Как показало российско-монгольское совещание 30–31 марта 2015 г. в Улан-Баторе, монгольская сторона явно не будет разрабатывать ТЭО и ОВОС плотин в бассейне Селенги в продуктивном взаимодействии с российской стороной». Кроме того, в комментариях к решению ЮНЕСКО сказано: «Монгольские специалисты при своих расчетах строительства брали за основу результаты максимально водных годов. Получалось так, что и приток Селенги в Байкал почти не уменьшится, а если и сократится, то только на период заполнения водохранилищ – на два-три года. А потом восстановит вековой статус-кво» [18]. Однако при обсуждении проблемы строительства ГЭС в Монголии приводятся противоречивые сведения о местах их возведения (не даются географические координаты плотин) и о морфометрических показателях искусственных водоемов [20]. Поэтому при картографическом моделировании мы остановились на привязках сооружений, которые упомянуты в публикации [6; 20]. Исходя из сказанного, при проведении моделирования мы разместили проектируемые плотины в наиболее рациональных, по нашему мнению, местах.

В *Планы правительства Монголии по созданию комплекса гидроэнергетических сооружений* и развитию производительных сил Монголии вошло также создание комплекса гидроэнергетических и мелиорационных сооружений по переброске воды северных рек в гобийские аймаки (рис. 1). Однако представляется, что эта идея недостаточно продумана. Подобная мысль о переброске стока рек Западной Сибири в Среднюю Азию разрабатывалась в СССР в 50-х гг. прошлого столетия [16], но, к счастью, *в середине 80-х гг. проект был закрыт силами СО РАН. Правда, в нынешнем, XXI в., похоже, что в России эта идея возрождается вновь, суть ее заключается в продаже пресных вод в Китай в объеме 70 млн м³ воды, которая будет выведена из водного баланса Алтая навсегда.*

Картографическое моделирование

В основу моделирования были положены ресурсы [21]. Базовые данные – это морфометрические характеристики собственно рек, на которых планируется строительство ГЭС в бассейне р. Селенги, и варианты предварительного моделирования будущих водохранилищ. Для построения модели использовались: проектируемые высоты, длины и примерные положения створов плотин. По этим параметрам производилось условное заполнение рельефа, и определялись площади зеркал водохранилищ и их объемы.

Гидроэнергетические сооружения в Монголии планируется создать в бассейне р. Селенги, их расположение показано на рис. 1 и 2, а технические и морфометрические характеристики приведены в табл. 1–4.



Рис. 1. Планируемые к строительству гидроэнергетические сооружения в Монголии [15], фрагмент, заимствованный из результатов советских исследований 1976 г.

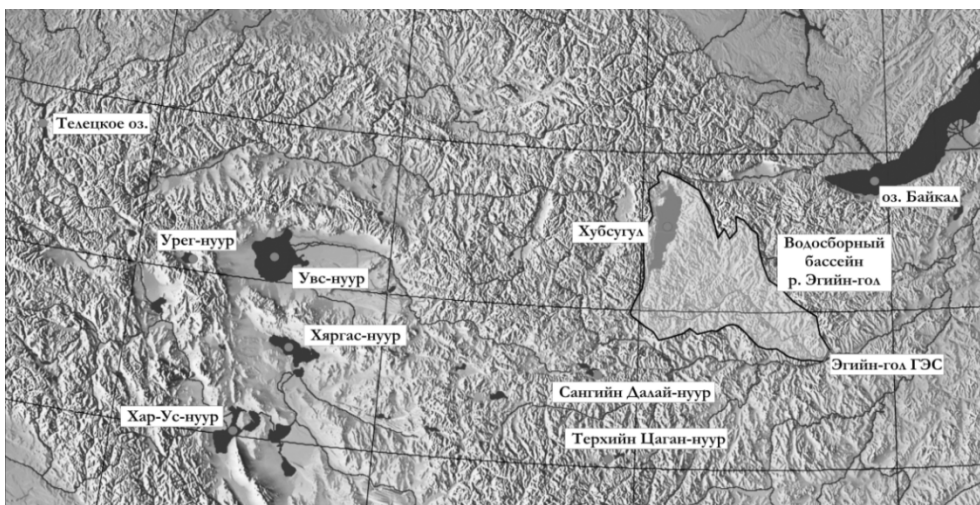


Рис. 2. Ситуационная схема водосборных бассейнов озер Северной Монголии, Долины Больших озер, Российского Алтая и р. Эгийн-гол

Таблица 1

Выборочные технические характеристики гидроэнергетических сооружений в бассейне р. Селенги [5] с упрощениями

Технические характеристики водохранилищ	Эгийн	Орхон	Шурэн
Высота НПП, м	95,7–103	90	65
Длина плотины, м	800	495	1200
Площадь зеркала водохранилища, км ²	125	60	203
Объем водохранилища, км ³	4,0	0,7	3,3
Проектная мощность, МВт	315	100	2425
Проектное производство электроэнергии кВт·ч в год	500 млн	219 млн	900 млн

Водохранилище Эгийн

Морфометрические характеристики р. Эгийн-гол: протяженность реки – 475 км от оз. Хубсугул (Хатгал); высота над уровнем моря – 1645 м (50°25'07"N – 100°09'05"E); до слияния с р. Селенгой высота над уровнем моря – 829 м (49°23'18"N – 103°37'28"E); средний уклон долины – 1,71; площадь водосборного бассейна – 49100 км².

Предварительные морфометрические характеристики водохранилища на р. Эгийн-гол: объем притока воды – 2,85 км³/год; объем атмосферных осадков – 0,044 км³; испаряемость – 0,076 км³; баланс отрицательный (оценки Г. Ёндонгомбо и Б. Болдбаатар, Монголия); по нашим оценкам, площадь зеркала водохранилища – 239,2 км², а объем водохранилища – 9 км³.

Оценка параметров водохранилища выполнялась по формулам, используемым при подсчете запасов полезных ископаемых:

– призма: $V = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot h$, где V – объем призмы, S_1 и S_2 – площади кровли и подошвы слоя, h – расстояние между кровлей и подошвой слоя;

– усеченная пирамида: $V = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}}{3} \cdot h$; буквенные обозначения те же самые.

Результаты расчетов приведены в табл. 2, а картографическое отображение водохранилища помещено на рис. 3.

Таблица 2

Результаты расчетов параметров водохранилища Эгийн

Уровень, м	Площадь уровня, км ²	Призма	Усеченная пирамида	Толщина слоя, км	Призма	Усеченная пирамида
930	239,202	Средняя площадь слоя, км ²			Объем слоя, км ³	
920	181,69	210,45	209,79	0,01	2,10	2,10
910	149,94	165,82	165,56	0,01	1,66	1,66
900	127,96	138,95	138,80	0,01	1,39	1,39
890	107,10	117,53	117,37	0,01	1,18	1,17
880	86,35	96,72	96,54	0,01	0,97	0,97
870	60,69	73,52	73,14	0,01	0,74	0,73
860	39,24	49,97	49,58	0,01	0,50	0,50
850	23,58	31,41	31,08	0,01	0,31	0,31
840	8,35	15,96	15,32	0,01	0,16	0,15
830	0,00	4,18	2,78	0,01	0,04	0,03
Сумма		904,51	899,96	0,10	9,05	9,01

Водосбор оз. Хубсугул – 37 142,63 км².

Водохранилище Шурэн

В основу моделирования были положены ресурсы пакета [21]. Базовые данные – это морфометрические характеристики бассейна р. Селенги и варианты предварительного моделирования будущего водохранилища.

Морфометрические характеристики р. Селенги: протяженность реки – 1024 км от истока в районе слияния рек Идэр и Дэлгэр-Мурэн; высота над уровнем моря – 1663 м ($49^{\circ}15'43''\text{N} - 100^{\circ}09'05''\text{E}$); до впадения в оз. Байкал высота над уровнем моря – 456 м ($52^{\circ}16'33''\text{N} - 106^{\circ}16'20''\text{E}$); средний уклон долины – 1,17; площадь водосборного бассейна включает 281 000 км² (территория Монголии) + 166 060 км² (российская территория) = 447 060 км². Площадь водосборного бассейна р. Селенги с учетом водосборных бассейнов рек Идэр и Дэлгэр-Мурэн – 491 647 км².

Предварительные морфометрические характеристики водохранилища Шурэн на р. Селенге по результатам картографического моделирования высота НПП = 65 м; площадь зеркала водохранилища – 230,2 км², а объем водохранилища – 6,2 км³ (рис. 4).

Оценка параметров водохранилища Шурэн выполнялась по формулам, использовавшимся в предыдущем случае для водохранилища Эгийн (табл. 3).

Таблица 3

Результаты расчетов параметров водохранилища Шурэн

Уровень, м	Площадь уровня, км ²	Призма	Усеченная пирамида	Толщина слоя, м	Призма	Усеченная пирамида
775	268,00	Средняя площадь слоя, км ²				Объем слоя, км ³
765	192,40	230,20	229,16	0,01	2,30	2,29
755	130,60	161,50	160,51	0,01	1,62	1,61
745	78,21	104,41	103,29	0,01	1,04	1,03
735	69,54	73,88	73,83	0,01	0,74	0,74
725	12,47	41,01	37,15	0,01	0,41	0,37
715	0,93	6,70	5,60	0,01	0,07	0,06
705	0,00	0,46	0,31	0,01	0,00	0,00
Сумма		618,16	609,85	0,07	6,18	6,10

Водохранилище Орхон

В основу моделирования были положены ресурсы программного пакета [21]. Базовые данные – морфометрические характеристики бассейна р. Орхон и варианты предварительного моделирования будущего водохранилища.

Морфометрические характеристики р. Орхон: протяженность реки – 1124 км от верховьев в горах Хангая; высота над уровнем моря \approx 2560 м ($47^{\circ}03'16''\text{N} - 101^{\circ}19'59''\text{E}$); до слияния с р. Селенгой высота над уровнем моря – 601 м ($50^{\circ}15'07''\text{N} - 106^{\circ}08'14''\text{E}$); средний уклон долины – 1,74; площадь водосборного бассейна – 143 479 км².

Предварительные морфометрические характеристики водохранилища Орхон по результатам картографического моделирования: высота НПП = 90 м; площадь зеркала водохранилища – 90,4 км² и объем водохранилища – 2,4 км³ (рис. 5).

Оценка параметров водохранилища гидротехнического сооружения (ГТС) Орхон выполнялась по формулам, использовавшимся в предыдущем случае для водохранилища Эгийн (табл. 4).

Таблица 4

Результаты расчетов параметров водохранилища Орхон

Уровень, м	Площадь уровня, км ²	Призма	Усеченная пирамида	Толщина слоя, м	Призма	Усеченная пирамида
		Средняя площадь слоя, км ²			Объем слоя, км ³	
960	90,44					
950	70,70	80,57	80,37	0,01	0,81	0,80
940	51,69	61,20	60,95	0,01	0,61	0,61
930	28,03	39,86	39,26	0,01	0,40	0,39
920	19,36	23,70	23,56	0,01	0,24	0,24
910	13,49	16,43	16,34	0,01	0,16	0,16
900	8,66	11,07	10,99	0,01	0,11	0,11
890	2,85	5,75	5,49	0,01	0,06	0,05
880	0,35	1,60	1,40	0,01	0,02	0,01
870	0,00	0,18	0,12	0,01	0,00	0,00
Сумма		240,18	238,36	0,08	2,41	2,37

Многолетние тенденции изменения погодно-климатических обстановок в бассейне р. Селенги

Уровенный режим озерных водоемов во многом зависит от погодно-климатических изменений и обычно контролируется инструментальными наблюдениями. К сожалению, уровнемерные данные имеются для ограниченного числа природных водоемов, и поэтому в качестве косвенной характеристики погодно-климатических изменений во времени могут служить данные дендрохронологии. Прирост древесины зависит от степени влажности атмосферы, объема выпадающих атмосферных осадков, концентрации CO₂ в атмосфере и инсоляции земной поверхности, т. е. почти от тех же причин, которые определяют высоту стояния уровней водоемов. В качестве примера приведем данные по Онежскому озеру, где параллельно проводились измерения высоты стояния уровня и количества выпадающих осадков (рис. 6).

В случае искусственных водоемов, планируемых к строительству гидротехнических сооружений в бассейне р. Селенги (Монголия) уровнемерные данные нам не удалось найти. Поэтому для оценки природной обстановки в окрестностях возможных гидротехнических сооружений был выполнен анализ радиального прироста древесины близ акваторий естественных озер. Приведем несколько примеров подобного анализа.

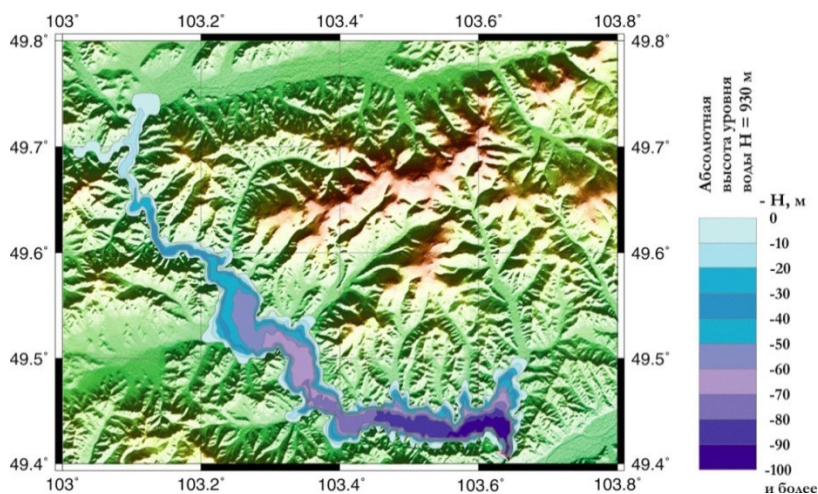


Рис. 3. Водохранилище Эгийн:

результат картографического моделирования на базе материалов [21]

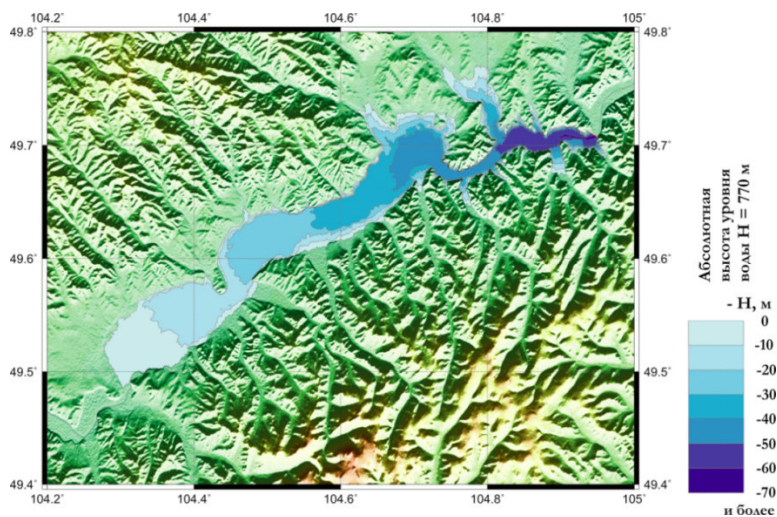


Рис. 4. Водохранилище Шурэн:

результат картографического моделирования на базе материалов [21]

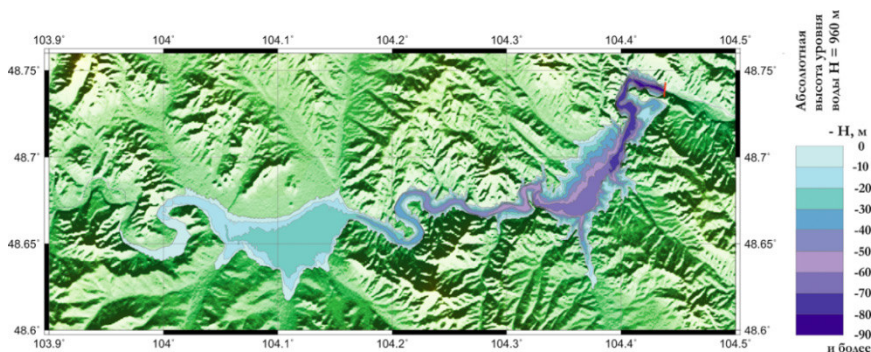


Рис. 5. Водохранилище гидротехнического сооружения Орхон:

результат картографического моделирования на базе материалов [21]

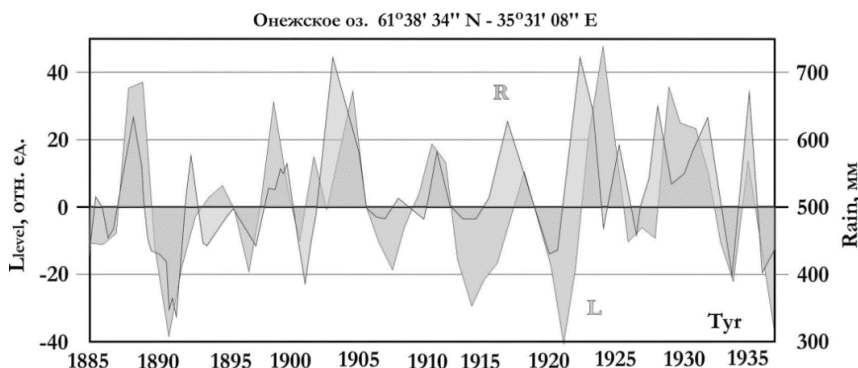


Рис. 6. Колебания уровня Онежского озера – *L* и количества среднегодовых атмосферных осадков – *R*. Видно, что вариации обеих характеристик практически синхронны [14]

Озеро Хубсугул является частью водосборного бассейна планируемой Эгийн ГЭС. Древеснокольцевые хронологии (рис. 7, *A*, *B*) указывают на наличие положительного тренда изменения в интервале времени 1423–2013 гг. Периодичности смены погодно-климатических обстановок сведены в табл. 5. Периоды с теми или иными временными вариациями сопоставимы с известными циклами солнечной активности: I – близок к половине цикла Швабе – Вольфа, II – соответствует собственно циклу Швабе – Вольфа – 9–13 лет, III – соответствует циклу Хэйла – ≈ 22 года, IV – схож с циклом Брикнера¹ – 25–50 лет, V – полувековой, VI – вековой, VII – полторавековой. Некоторые отклонения продолжительностей периодов в табл. 5 от приведенных выше значений циклов, вероятно, обусловлены запаздыванием реакции древостоев на изменение природной ситуации. Вариации погодно-климатических изменений в районе оз. Хубсугул происходят с периодичностью – 6–8, 10–14, 23, 37, 54, 98, 148 лет. Но бассейн оз. Хубсугул, скорее, исключение из правил, что мы увидим на примерах других озерных водоемов в бассейне р. Селенги.

Анализ радиального прироста древесины близ оз. Сангийн-Далай-нуур (см. рис. 2), располагающегося западнее водосборного бассейна водохранилища Эгийн (рис. 8, *A*, *B*), показал устойчивую тенденцию к ухудшению погодно-климатических условий произрастания древостоев (рис. 8, *A*). Однако на фоне ухудшения комфортности погодно-климатических условий, ведущего к опустыниванию территорий, наблюдаются флуктуации «улучшения – ухудшения» природных условий (кривая на рис. 8, *B*) с периодами: $\sim 8, 11\text{--}13, 17\text{--}21, 32,5\text{--}44, 81, 122$ года.

¹ **Цикл Брикнера** установлен немецким климатологом Э. Брикнером (Брюкнер; E. Brückner) в XIX в. на основании изучения хода осадков, колебания уровня Каспийского моря, динамики ледников, изменения сроков ледостава и т. д., в среднем равен 35 годам (фактически от 25 до 50 лет).

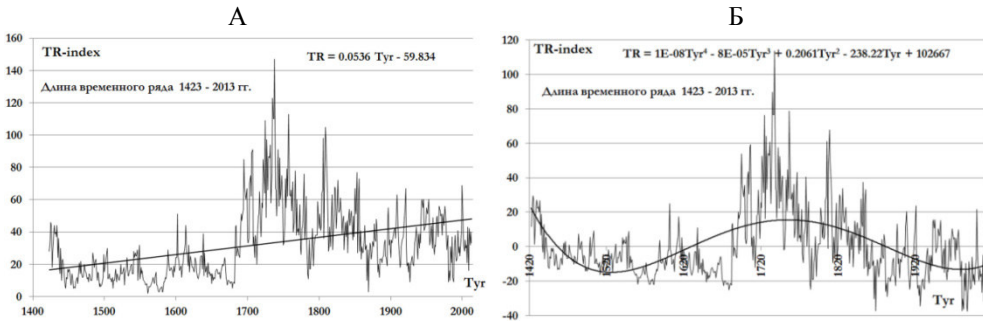


Рис. 7. Региональный тренд погодно-климатических изменений близ оз. Хубсугул, части водосборного бассейна Эгийн.

TR-index – индекс, характеризующий вариации радиального прироста древесины, Tyr – годы 1423–2013: А – реальная кривая; Б – нормализованная кривая

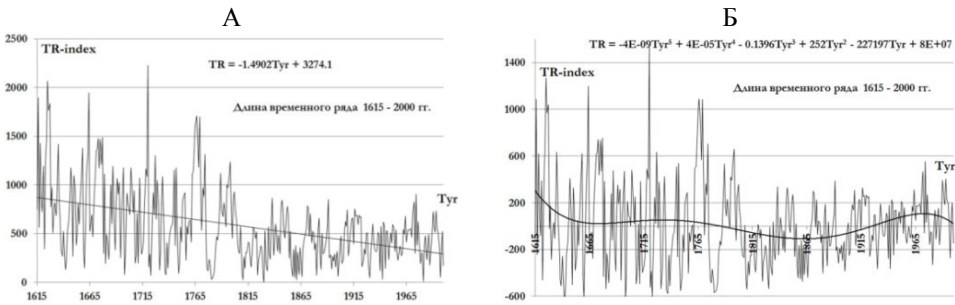


Рис. 8. Региональный тренд погодно-климатических изменений в ближайшем окружении оз. Сангийн-Далай-нуур и водохранилища Эгийн в бассейне р. Селенги (Монголия).

TR-index – индекс, характеризующий вариации радиального прироста древесины, Tyr – годы 1615–2000 гг.: А – реальная кривая; Б – нормализованная кривая

Анализ радиального прироста древесины близ оз. **Тэрхийн-Цагаан-нуур** (см. рис. 2), располагающегося юго-западнее водосборного бассейна водохранилища Эгийн (рис. 9, А, Б), показал устойчивую тенденцию к ухудшению погодно-климатических условий произрастания древостоев (рис. 9, А). На этом фоне, ведущем к опустыниванию территорий, также наблюдаются флуктуации «улучшения – ухудшения» природных условий (кривая на рис. 9, Б) с периодами: ~ 6–8, 12–16, 21–24, 44, 81, 122 года.

Анализ радиального прироста древесины в окрестностях Орхон (рис. 10, А, Б) показал устойчивую тенденцию к ухудшению погодно-климатических условий произрастания древостоев (рис. 10, А). На фоне общего ухудшения гидрометеорологической ситуации наблюдаются флуктуации комфортности погодно-климатических условий, ведущей к опустыниванию территорий (кривая на рис. 10, Б) с периодами: ~ 7–8, 10–13, 18–22, 38–41, 57, 82, 144 года.

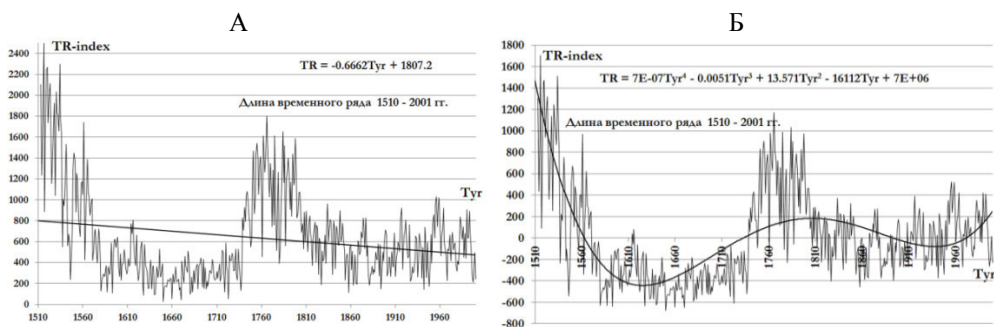


Рис. 9. Региональный тренд погодно-климатических изменений близ оз. Тэрхийн-Цагаан-нуур и водохранилища Эгийн в бассейне р. Селенги (Монголия). TR-index – индекс, характеризующий вариации радиального прироста древесины, Tyr – годы 1615–2000: А – реальная кривая; Б – нормализованная кривая

Периодичности смены погодно-климатических обстановок сведены в табл. 5. Некоторые отклонения продолжительностей периодов в табл. 5 от приведенных выше значений циклов, вероятно, обусловлены запаздыванием реакции древостоев на изменение природной ситуации.

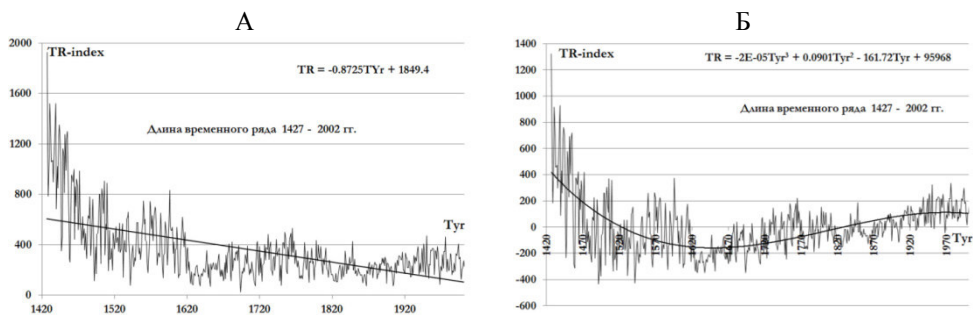


Рис. 10. Региональный тренд погодно-климатических изменений в бассейне р. Орхон (Монголия). TR-index – индекс, характеризующий вариации радиального прироста древесины, Tyr – годы 1615–2000: А – реальная кривая; Б – нормализованная кривая

Таблица 5

Периодичность погодно-климатических изменений в окрестностях озер бассейна р. Селенги

Озеро / период	I	II	III	IV	V	VI	VII
Хубсугул	6–8	10–14	23	37	54	98	148
Сангийн-Далай-нуур	8	11–13	17–21	32	44	81	122
Тэрхийн-Цагаан-нуур	6–8	12–16	21–24	-	44	81	122
Угий-нуур	7–8	10–13	18–22	38–41	57	82	144

Погодно-климатическая обстановка и опустынивание в бассейне р. Селенги

В основу анализа положены данные о среднегодовом количестве атмосферных осадков и испаряемости с поверхности озер, расположенных в бассейне р. Селенги (табл. 6) и окрестностях проектируемых гидротехнических сооружений. Для характеристики обеспеченности территории влагой используется коэффициент увлажнения K_u – отношение годовой суммы осадков к испаряемости за этот же период

Таблица 6
Отношение количества осадков к величине испаряемости из [7]³

Озеро	$R, \text{ км}^3$	$E, \text{ км}^3$	$K_u = R/E$
Байкал	9,29	15,70	0,60
Увс-нуур	0,47	3,06	0,15
Хиргис-нуур	0,18	1,33	0,05
Урег-нуур	0,04	0,20	0,18
Телмен-нуур	0,04	0,16	0,23
Сангийн-Далай-нуур	<0,01	0,12	0,03

Из таблицы 6 следует, что только озерный бассейн Байкала находится в более или менее благоприятных условиях, судя по значениям K_u , остальные существуют в условиях полупустыни или пустыни. Отрицательный баланс между объемом атмосферных осадков – $0,044 \text{ км}^3$ и испаряемостью – $0,076 \text{ км}^3$ в бассейне р. Селенги ведет к устойчивому снижению уровня водоёма.

На рисунке 11 показано пространственное распределение индекса аридности для территории Монголии. Индекс аридности K_{AR} является показателем, характеризующим степень сухости (аридности) климата, и оценивается по изменению отношения E/R , где E – испаряемость, а R – сумма атмосферных осадков.

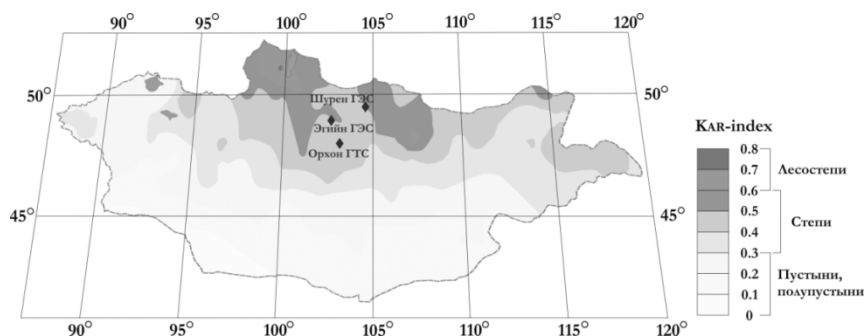


Рис. 11. Распределение индекса аридности на территории Монголии [19]

³ Коэффициент увлажнения $K_u = R/E$ – отношение годового количества осадков R к годовой величине испаряемости E для данного ландшафта, является показателем соотношения тепла и влаги. Если: $K_u > 1$ – увлажнение избыточное (тундра, лесотундра, тайга); $K_u \sim 1$ – увлажнение достаточное (широколиственные леса); $K_u < 1$ – увлажнение недостаточное: при $K_u \geq 0,6$ лесостепь, при $K_u \leq 0,6$ степь, при $K_u \leq 0,3$ скудное увлажнение, при $K_u > 0,1$ – полупустыня; при $K_u < 0,1$ – пустыня. Радиационный индекс сухости $K_s = E/R$ – величина, обратная K_u .

Степень среднего опустынивания территорий аймаков, расположенных в бассейне р. Селенги, иллюстрирует рис. 12. Здесь уместно отметить, что территория Гоби увеличивается ежегодно на 3600 км² [19].

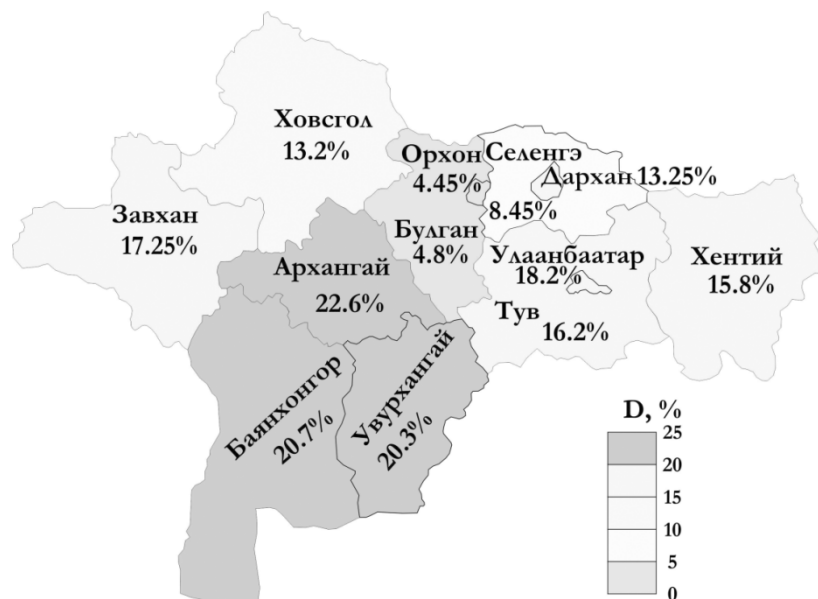


Рис. 12. Средняя степень опустынивания территории аймаков, расположенных в бассейне р. Селенги, в % от их площади [17].

Границы аймаков схематизированы

Растительный покров бассейна р. Селенги

Растительность представлена смесью горной, степной и пустынной с включениями сибирской тайги. Таежные ландшафты при движении с севера на юг последовательно сменяются «таежная→степная→пустынная», что согласуется с последовательным изменением в том же направлении степени опустынивания (см. рис. 11 и 12). Монгольская флора образует экосистемы: таежную (5 % площади страны), лесную (10 %), степную (52 %) и пустынную (32 %) [2; 17]. Залесенность – величина, отражающая отношение всей лесопокрытой площади (на землях лесного фонда и иных категорий, на которых расположены леса) к площади муниципального образования (района или аймака). На территории Монголии средняя залесенность составляет 11,5 % и колеблется от 0,75 (аймак Увурхангай) до 35,0 % (аймак Дархан). За последнее десятилетие отмечается уменьшение залесенности по причине опустынивания (рис. 13).

О высоких рисках, связанных с опустыниванием и обезвоживанием территорий, свидетельствует карта (рис. 14). Из карты-схемы следует, что вся территория Монголии входит в градацию «высоких рисков».

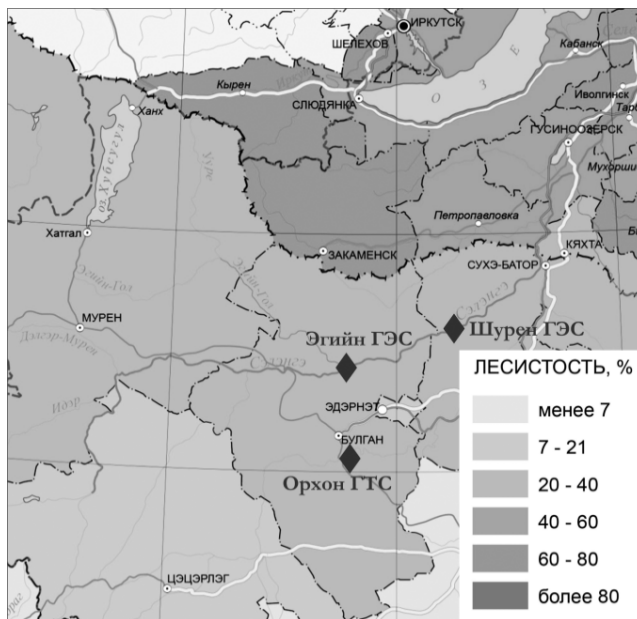


Рис. 13. Степень залесенности бассейна р. Селенги [2; 10]

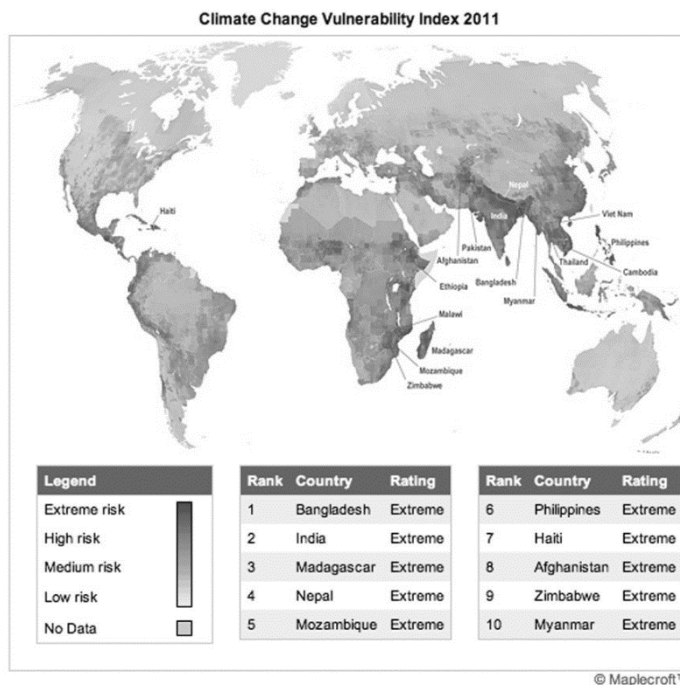


Рис. 14. Карта-схема риска от климатических изменений [3]

Геолого-геоморфологическая обстановка в бассейне р. Селенги

В контексте этой статьи нас будет интересовать пространственное положение осадочных горных пород позднего плиоцена и плейстоцен-голоцена. Позднеплиоценовые осадки широко распространены в бассейнах рек Селенги и Орхона. Они представлены коричневатыми и красноватыми илами, алевролитами и гравием. Толщина осадочных слоев составляет около 20–40 м. Рыхлые отложения плейстоцен-голоцена проявляются ледниковыми, эоловыми, озерными, озерно-аллювиальными, аллювиальными, пролювиальными и вулканогенными образованиями. Все эти отложения относятся к слабоустойчивым процессам выветривания и при любом строительстве должны быть внимательно обследованы на предмет их физических свойств (рис. 15).

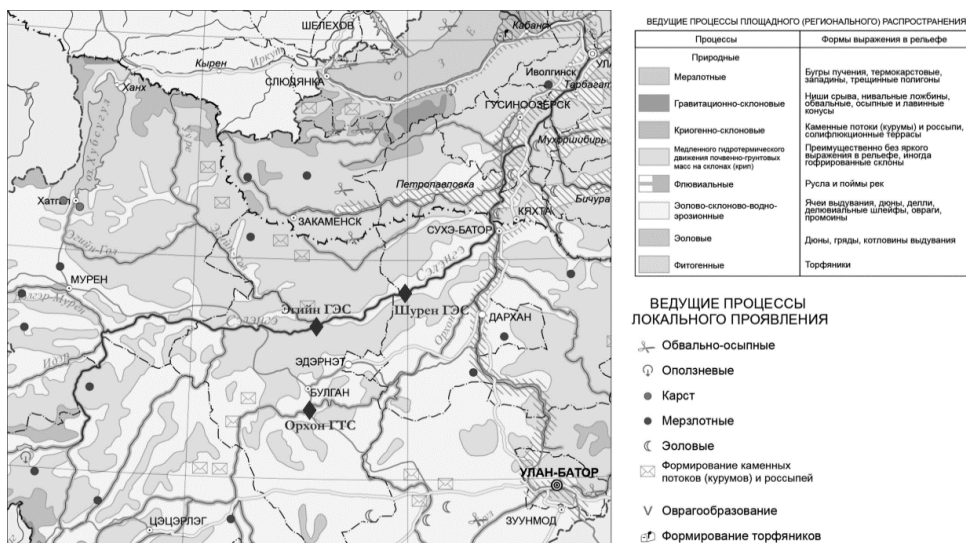


Рис. 15. Ведущие экзогенные процессы и формы рельефа в бассейне р. Эгийн-гол. Ромбики – примерное положение проектируемых ГЭС [2]

Сейсмическая обстановка в бассейне р. Селенги

Территория Монголии относится к высокосейсмичным регионам. За прошедшие немногим более 100 лет здесь произошли три мощных землетрясения – Болнайское (1905 г.) с магнитудой $M = 7,6$, Гоби-Алтайское (1957 г.) – $M = 8,1$ и Могодское (1967 г.) – $M = 7,8$.

По результатам общего сейсмического районирования (рис. 16) все проектируемые в бассейне р. Селенги гидротехнические сооружения располагаются в районах, где возможно возникновение землетрясений с интенсивностью 8–9 баллов по шкале MSK-64. Отметим попутно, что Иркутская ГЭС расположена на территории с интенсивностью 7–8 баллов, а построена из предположения возникновения землетрясений интенсивностью 8–9 баллов. При этом усиление интенсивности землетрясений на 1 балл ведет к многократному увеличению стоимости реализации проекта.

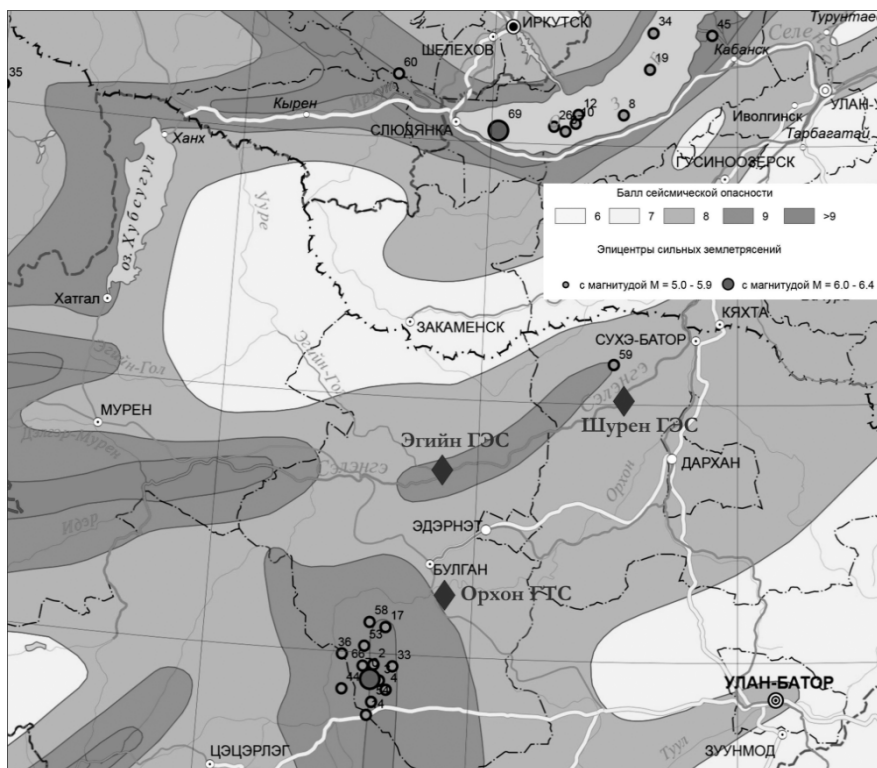


Рис. 16. Сейсмическое районирование бассейна р. Селенги. Материалы Института земной коры СО РАН.

Ромбики – примерное положение проектируемых ГЭС [2; 9; 12; 13]

Обсуждение

Подводя итог данному исследованию, обсудим факторы, определяющие возможные негативные последствия строительства гидротехнических сооружений в бассейне р. Селенги (Монголия), с учетом реальных природно-климатических условий:

1. Погодно-климатические условия современной Монголии таковы, что процессы опустынивания идут в грандиозных масштабах со скоростью 3,6 тыс. км²/год. Увеличение за счет строительства искусственных водоемов. Испаряемость с их поверхности суммарной площадью почти 598 км² многократно усилится, а это прямая дорога к прогрессирующему опустыниванию. Кроме того, это приведет к искусственному сведению и без того малых лесных угодий и уничтожению богатых травой выпасов животных.

2. Экзогенно-геологические последствия – из-за слабой «прочности» почвенно-растительного слоя здесь начнут происходить оползни, сплывы, обвалы и сели в период прохождения ливневых дождей. Пример – г. Улаанбаатар последних лет. Однако первичной опасностью развития экзогеодинамических процессов является сама эксплуатация гидротехнических сооружений, связанная с сезонным «повышением – понижением» уровня воды

в искусственных водоемах, определяющим интенсивность разрушения берегов водохранилищ и их заиливание.

3. Геолого-тектонические опасности – все проектируемые гидротехнические сооружения располагаются в области ожидаемых землетрясений интенсивностью 8–10 баллов, что приведет к многократному увеличению стоимости сооружений.

В качестве печального примера приведем результат строительства и эксплуатации Гувер Дам и оз. Мид на р. Колорадо (США) (рис. 17). В истории водохранилища Мид было три случая понижения уровня воды из-за засухи (ниже 1125 футов). С 1953 по 1956 г. водный уровень упал с 1200 до 1085 футов; с 1963 по 1965 г. уровень воды упал с 1205 до 1090 футов. В 2000–2008 гг. уровень воды понизился с 1215 до 1095 футов. В 2009 г. уровень воды немного повысился. Критический лимит для нормальной эксплуатации плотины – 1050 футов (320 м). Максимальный уровень воды в системе – 1241 фут (378,4 м). В апреле 2016 г. в результате 15-летней засухи (2000–2015 гг.) уровень воды опустился до 329,14 м [1; 4].

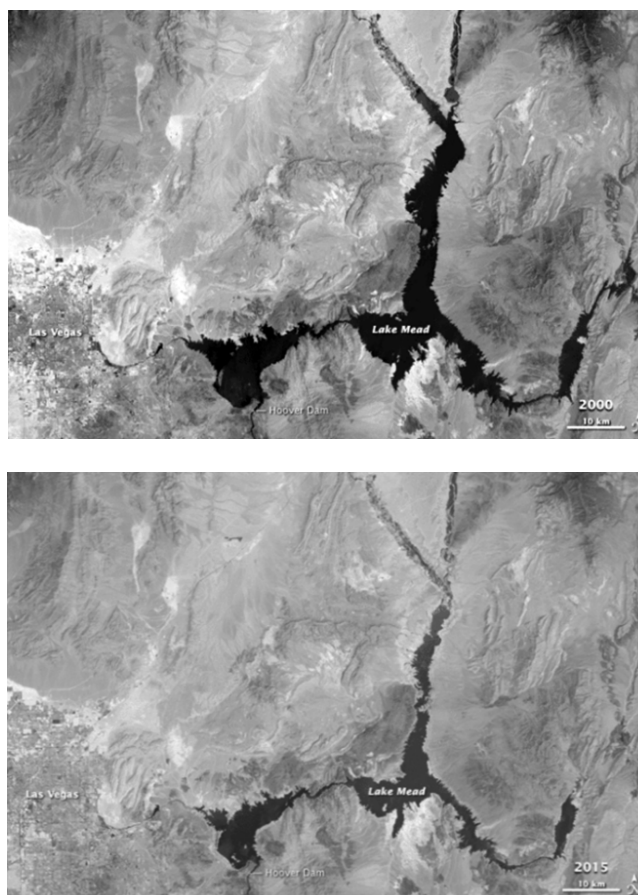


Рис. 17. Катастрофическое обмеление оз. Мид на р. Колорадо, Гувер Дам

Заключение

Таким образом, в результате картографического моделирования представлялась возможность приближенно воссоздать морфометрические параметры проектируемых водохранилищ на реках Эгийн-гол, Селенга и Орхон (Монголия). Именно упомянутые выше условия будут препятствовать нормальному функционированию гидроэнергетических сооружений, и, вероятно, в процессе проектирования водохранилища на реках в бассейне р. Селенги придется внимательно проработать технологии защиты прилегающих территорий от негативного техногенного воздействия. Принятие окончательных решений остается за правительством Республики Монголия, но, на наш взгляд, потери могут перевесить резоны получения от этого сомнительно «дешевой» электроэнергии.

Список литературы

1. *Водохранилище* Мид мелеет [Электронный ресурс]. – URL: <http://monkey-news.ru/galleries/1948-lake-mead-nevada.html>.
2. *География* Монголии: рельеф, климат, растительный и животный мир [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gecont.ru/articles/geo/mongolia.htm>.
3. *Глобальное потепление* и его воздействие на регионы планеты [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.infokart.ru/globalnoe-poteplenie-i-ego-vozdjeystvie-na-regiony-planety/>.
4. *Есакова П.* Высыхание водохранилища Мид показали на одном GIF [Электронный ресурс]. – URL: http://www.lookatme.ru/mag/live/experience-news/216441-gif?utm_source=feedburner&utm_medium=twitter&utm_campaign=/.
5. *Ёндонгомбо Г.* Проект ГЭС «Шурэн» / Г. Ёндонгомбо [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.academia.edu/18702612/>.
6. *Иванов А.* В ЮНЕСКО отказались обсуждать строительство самой опасной монгольской ГЭС [Электронный ресурс] / А. Иванов. – URL: <http://www.infpol.ru/news/society/117294-v-yunesko-otkazalis-obsuzhdad-stroitelstvo-samoj-opasnoy-mongolskoj-ges-/>.
7. *Колпакова М. Н.* Геохимия соленых озер Западной Монголии : дис. канд. геол.-минерал. наук / М. Н. Колпакова. – Томск, 2014. – 178 с.
8. *Мунхбаяр Ч.* Монголия спешит занять место в очереди тех, с кем рассорилась Россия? [Электронный ресурс] / Ч. Мунхбаяр. – URL: <http://asiarussia.ru/articles/10723/>.
9. *Новая карта* сейсмического районирования территории Северной Евразии / В. С. Хромовских [и др.] // Геофизические исследования в Восточной Сибири на рубеже XXI в. – Новосибирск, 1996. – С. 94–99.
10. *О состоянии* окружающей среды бассейна озера Байкал : доклад 2012–2013 гг. [Электронный ресурс]. – URL: <http://sites3.iwlearn3.webfactional.com/bic/ru/dokumenty/>.
11. *Опустынивание* земель в Китае вызывает тревогу во всей Азии [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.epochtimes.ru/opustynivanie-zemel-v-kitae-vyzyvaet-trevogu-vo-vsej-azii-99029918/>.
12. *Смекалин О. П.* Палеосейсмология Восточной Сибири / О. П. Смекалин, В. С. Имаев, А. В. Чипизубов. – Иркутск : Изд.-во ИЗК СО РАН, 2011. – 98 с.
13. *Современная* геодинамика: Сейсмотектоника, прогноз землетрясений, сейсмический риск (фундаментальные и прикладные аспекты) / К. Г. Леви [и др.] // Литосфера Центральной Азии. – Иркутск, 1996. – С. 150–183.
14. *Соколов А. А.* Гидрография СССР. Озера / А. А. Соколов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1952. – 287 с.

15. *Техническое задание для региональной экологической оценки, и оценки экологического и социального воздействия для проекта «Шурэнская» ГЭС* [Электронный ресурс] : “Mongol Management Center” LLC, Mongolia, 2015. – 45 с. – URL: www.plotina.net.
16. *Шишикин В.* Проекты переброски стока северных рек в республики Средней Азии [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.cawater-info.net/review/pdf/shishikin.pdf>.
17. *Экологический атлас бассейна оз. Байкал* [Электронный ресурс]. – URL: <http://sites3.iwlearn3.webfactional.com/bic/ru/atlas/Atlas%20of%20the%20Baikal%20Basin%20-RUS.pdf/view>.
18. *Юрков А.* Байкал утопят в плотинах. Новости в Иркутской области // Рос. газ. – 2016. – № 6990 (122).
19. *Gombo D.* Surface Water of Mongolia / D. Gombo, O. Dambaravjaa, S. Michiaki [Electronics resource]. – URL: <http://bic.iwlearn.org/en/documents/documents/papers/surface-water-of-mongolia-english/>.
20. *Mission report “Reactive Monitoring Mission to Mongolia Concerning the World Heritage Property of Lake Baikal”* (Russian Federation). Paris, 15 June 2014. – 33 p. [Electronics resource]. – URL: <https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fwhc.unesco.org%2Fdocument%2>.
21. *SRTM 90m Digital Elevation Data* [Electronics resource]. – URL: <http://srtm.csi.cgiar.org>.

Cartographic Modeling of Cascade of Reservoirs in the Basin of Selenga (Mongolia). Preliminary Results

K. G. Levi

*Institute of the Earth's Crust SB RAS
Irkutsk Scientific Center SB RAS*

A. I. Miroshnichenko

Institute of the Earth's Crust

Abstract. In 2011, public hearings were initiated on the issue of construction of a number of hydraulic structures on the territory of Mongolia, and in particular in the basin. Selenga. In this debate, and has joined the international community. Subjects materials were contradictory and, therefore, the discussion also were contradictory. The documents cited in the bibliography, various digital estimate the size of flooded river valleys were laid, the volume of reservoirs etc. No coordinates were given to the planned construction of dams and so on. The authors arose genuine interest in this future infrastructure projects, and because an attempt was made their simulation based on the cartography. The following are the preliminary results of cartographic modeling of reservoirs in the basin. Selenga, Mongolia. We give morphometric characteristics of rivers and possible future reservoirs. Consider the weather and climate changes in the Northern Lake District and Prihangayskoy Mongolia and the Russian Altai. A qualitative assessment of possible environmental damage with additional materials on the seismicity of the region, the composition of sedimentary rocks, carrying river valleys. Warned about possible environmental damage amounts to the territory of Mongolia.

Keywords: cartographic modeling, reservoir, lake, morphometry, weather and climate change, dendrochronology.

References

1. *Vodohranilische Mid meleet*. Available at: <http://monkey-news.ru/galleries/1948-lake-mead-nevada.html>.
2. *Geografiya Mongolii: relef, klimat, rastitelnyiy i zhivotnyiy mir*. Available at: <http://www.gecont.ru/articles/geo/mongolia.htm>.
3. *Globalnoe poteplenie i ego vozdeystvie na regionyi planetyi*. Available at: <http://www.infokart.ru/globalnoe-poteplenie-i-ego-vozdeystvie-na-regiony-planety/>.
4. Esakova P. *Vyisyhanie vodohranilisha Mid pokazali na odnom GIF*. Available at: [http://www.lookatme.ru/mag/live/experience-news/216441-gif?utm_source=feedburner&utm_medium=twitter&utm_campaign=].
5. Yondongombo G. *Proekt GES "SHUREN"*. Available at: <http://www.academia.edu/18702612/>.
6. Ivanov A.V. *YuNESKO otkazalis obsuzhdat stroitelstvo samoy opasnoy mongolskoy GES*. Available at: <http://www.infpol.ru/news/society/117294-v-yunesko-otkazalis-obsuzhdat-stroitelstvo-samoy-opasnoy-mongolskoy-ges/>.
7. Kolpakova M.N. *Geohimiya solenykh ozer Zapadnoy Mongolii. Candidate's thesis*. Tomsk, 2014. 178 p.
8. Munhbayar Ch. *Mongoliya speshit zanyat mesto v ocheredi teh, s kem rassorilas Rossiya?* Available at: <http://asiarussia.ru/articles/10723/>.
9. Hromovskikh V.S. et al. *Novaya karta seysmicheskogo rayonirovaniya territorii Severnoy Evrazii. Geofizicheskie issledovaniya v Vostochnoy Sibiri na rubezhe XXI v.* Novosibirsk, 1996, pp. 94-99 (in Russian).
10. *O sostoyanii okruzhayushey sredy basseyna ozera Baykal : doklad 2012–2013 gg.* Available at: <http://sites3.iwlearn3.webfactional.com/bic/ru/dokumenty/>.
11. *Opustynivanie zemel v Kitae vyzyvaet trevogu vo vsej Azii*. Available at: <http://www.epochtimes.ru/opustynivanie-zemel-v-kitae-vyzyvaet-trevogu-vo-vsej-azii-99029918/>.
12. Smekalin O.P. et al. *Paleoseysmologiya Vostochnoy Sibiri*. Irkutsk, Izd. IZK SO RAN, 2011. 98 p.
13. Levi K.G. et al. *Sovremennaya geodinamika: Seysmotektonika, prognoz zemletryaseny, seysmi-cheskiy risk (fundamentalnyie i prikladnyie aspektyi). Litosfera Tsentralnoy Azii*. Irkutsk, Izd. IZK SO RAN, 1996, pp. 150-183.
14. Sokolov A.A. *Gidrografiya SSSR. Ozera*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1952. 287 p.
15. *Tekhnicheskoe zadanie dlya regionalnoy ekologicheskoy otsenki, i otsenki ekologicheskogo i sotsialnogo vozdeystviya dlya proekta "ShURENSKAYA" GES*. "Mongol Management Center" LLC, Mongolia, 2015. 45 p. Available at: www.plotina.net.
16. Shishikin V. *Proekty perebroski stoka severnykh rek v respubliki Sredney Azii*. Available at: <http://www.cawater-info.net/review/pdf/shishikin.pdf>.
17. *Ekologicheskyy atlas basseyna oz. Baykal*. Available at: [http://sites3.iwlearn3.webfactional.com/bic/ru/atlas/Atlas of the Baikal Basin -RUS.pdf/view](http://sites3.iwlearn3.webfactional.com/bic/ru/atlas/Atlas%20of%20the%20Baikal%20Basin%20-%20RUS.pdf/view).
18. Yurkov A. *Baykal utopyat v plotinah. Novosti v Irkutskoy oblasti. Ros. gaz., 2016, no. 6990 (122)*.
19. Gombo D. et al. *Surface Water of Mongolia*. Available at: <http://bic.iwlearn.org/en/documents/documents/papers/surface-water-of-mongolia-english/>.
20. Mission Report "Reactive Monitoring Mission to Mongolia Concerning the World Heritage Property of Lake Baikal" (Russian Federation). Paris, 2014, 15 June. 33 p. Available at: <https://docviewer.yandex.ru/?url=http://whc.unesco.org/document%2>.
21. SRTM 90m Digital Elevation Data. Available at: <http://srtm.csi.cgiar.org>.

Леви Кирилл Георгиевич
доктор геолого-минералогических наук,
профессор
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
главный научный сотрудник
Иркутский научный центр СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134
тел.: (3952) 42-45-62
e-mail: levi@crust.irk.ru

Levi Kirill Georgievich
Doctor of Sciences (Geology and
Mineralogy), Professor
Institute of the Earth's Crust SB RAS
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033
Chief Research Scientist
Irkutsk Scientific Center SB RAS
134,
tel.: (3952) 42-45-62
e-mail: levi@crust.irk.ru

Мирошниченко Андрей Иванович
кандидат геолого-минералогических
наук, старший научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42-45-62
e-mail: mai@crust.irk.ru

Miroshnichenko Andrey Ivanovich
Candidate of Sciences (Geology and Min-
eralogy), Senior Scientist Researcher
Institute of the Earth's Crust
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42-45-62
e-mail: mai@crust.irk.ru