

Г.С. Арсеньев

**О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ ПРОБЛЕМЫ
ИЗМЕНЧИВОСТИ ВОД ГИДРОСФЕРЫ**

G.S. Arsenyev

**PROBLEM OF VARIABILITY OF THE HYDROSPHERE:
STATE OF THE ART**

Дана оценка изменения водных и гидроэнергетических ресурсов по субъектам Сибирского федерального округа России с учетом последних лет наблюдений за стоком.

Приведена степень использования экономически эффективных гидроэнергоресурсов округа и указаны основные причины его низкого использования в настоящее время.

The change of water-power resources of units of the Siberian federal district of Russia has been investigated in view of the data for recent years.

Scales of use of economically effective hydropower resources of the district have been established. Principal causes of low use of hydropower resources have been specified.

Распад СССР и развал экономики вызвали в 90-е годы прошлого столетия небывалый избыток электроэнергии Сибири. Это отрицательно сказалось на использовании богатейших гидроэнергетических ресурсов этого региона, а именно:

– было «заморожено» строительство Усть-Среднеканской ГЭС на р. Колыме, Богучанской ГЭС на р. Ангаре, Вилюйской ГЭС-III на р. Вилюй;

– из-за прекращения работ по развитию ЛЭП было ограничено использование установленной мощности Саяно-Шушенской ГЭС (с 6400 до 4500 МВт), а приостановка проектных работ по нижнему бьефу Красноярской ГЭС снизило выдачу ее максимальной мощности (с 6000 до 3500 МВт);

– были прекращены проектные работы по целому ряду перспективных и экономически эффективных гидроэлектростанций на Большом Енисее и притоках Енисея – Подкаменной и Нижней Тунгусках, в бассейнах Лены и Амура.

Все это привело к тому, что в начале XXI в. в России кривая роста энергопотребления пересеклась с возможностями электростанций (образовался так называемый «крест Чубайса») [2005 г.]. Возник «дефицит электричества». Как и за счет развития каких энергоисточников возможно покрыть выявленный дефицит электроэнергии? В настоящее время 70 % электропотребления покрывается за счет тепловых электростанций (ТЭС, ГРЭС и др.), 10 % – за счет атомных (АЭС), 20% – за счет гидравлических электростанций (ГЭС, ГАЭС).

Присоединение России к Киотскому протоколу, ограничивающему выброс CO₂ в атмосферу, в значительной степени будет сдерживать наращивание тепловой энергетики. Атомная энергетика, как и традиционная тепловая, способна также вызывать перегрев окружающей среды с вытекающими отсюда экологическими последствиями.

В связи с этим во всех странах мира, включая Россию, возрос интерес к использованию возобновляемых «экологически чистых» источников энергии и, в первую очередь, гидроэнергетических ресурсов рек.

По экономическому потенциалу гидроэнергоресурсов (852 млрд кВт·ч / год) Россия занимает второе место в мире (после Китая). Однако по степени их освоения уступает практически всем развитым странам и многим развивающимся государствам. Экономически эффективный гидроэнергетический потенциал Европейской части России, на долю которого приходится 19 %, почти полностью освоен и строительство новых ГЭС здесь не намечается.

Наибольший экономический потенциал сосредоточен в Сибири – 46 %, из которых в настоящее время используется только около 25 %.

Наиболее полная оценка гидроэнергетического потенциала рек Сибири произведена лишь в 60-е годы прошлого столетия [Энергетические ресурсы..., 1967]. Исходными данными для подсчета гидроэнергетического потенциала крупных и средних рек послужили характеристики стока до 1960 г. [Водные ресурсы..., 1967; Воскресенский, 1962].

Нами дана оценка изменения водных ресурсов по субъектам Сибирского федерального округа с учетом последних лет наблюдений за стоком [Гос. водный кадастр, 2002], данные по которому приведены в табл. 1.

Теоретические запасы гидроэнергии потока (без учета природных и технических потерь) определяются по формуле:

$$\mathcal{E} = 9,81QH \cdot 8760 = 85\,900QH \text{ кВт}\cdot\text{ч в год},$$

где Q – расход воды, м³/с; H – падение реки, м.

При неизменном падении эти запасы прямо пропорциональны изменению расхода воды. В этой же таблице через коэффициент изменения стока учтены и гидроэнергетические ресурсы субъектов округа. Из таблицы видно, что сток в целом по округу с учетом последних лет наблюдений, а следовательно, и теоретический гидроэнергетический потенциал изменились незначительно. Лишь в Республике Тува сток снизился на 28 %, а в Алтайском крае, Новосибирской и Кемеровской областях повысился соответственно на 6 – 10 %.

Наибольший интерес для хозяйства имеет экономический гидроэнергетический потенциал. Эта часть гидроэнергетического потенциала определяется после учета всех потерь, как возникающих при превращении гидравлической энергии в электрическую, так и зависящих от природных условий и параметров установки, использование которой целесообразно с учетом требований топливно-энергетического баланса и охраны природной среды [Арсеньев, 2005].

Подсчет экономически эффективных гидроэнергоресурсов субъектов Сибирского федерального округа произведен через средний коэффициент перехода от теоретических к экономическим гидроэнергоресурсам, принятым по работе [Энергетические ресурсы..., 1967]. Результаты сведены в табл. 2. Из таблицы видно, что экономический гидроэнергетический потенциал округа оценивается в 394 млрд кВт·ч, что составляет 46 % от гидроэнергетического потенциала России. Однако он неравномерно распределен по субъектам, входящим в Сибирский федеральный

округ. Почти 70 % экономического гидроэнергopotенциала округа сосредоточены в Красноярском крае.

Удельная насыщенность (тыс. кВт·ч/км²) составляет по округу 77, что близко в целом значению по России (75.2). Наибольшей удельной насыщенностью обладают Республика Тува, Алтайский край и Иркутская область.

На территории Сибирского федерального округа действуют 10 гидроэлектростанций и 2 строятся [Энергетика СССР..., 1977, 1987]. Распределены они по округу следующим образом: 5 действующих ГЭС расположены в Красноярском крае, 4 – в Иркутской области и 1 – в Новосибирской области. Основные характеристики ГЭС и водохранилищ даны в табл. 3. Из таблицы видно, что водохранилища, создаваемые на реках в горных и предгорных районах, более эффективны в отношении сокращения площадей затоплений. Так, Саяно-Шушенское водохранилище при напоре 217 м имеет площадь водного зеркала всего 633 км². Для примера, Куйбышевское водохранилище на р. Волга при напоре 25 м имеет площадь водного зеркала 5900 км², т.е. при напоре в 9 раз меньшем площадь больше в те же 9 раз. Кроме того, горные и предгорные водохранилища более емкие на единицу затапливаемой площади и не вызывают существенного снижения биоресурсов региона.

Степень использования экономически эффективных гидроэнергоресурсов Сибирского федерального округа дана в табл. 4.

С учетом строящихся Катунской и Богучанской ГЭС выработка электроэнергии может увеличиться до 123,8 млрд кВт, т.е. использование экономического гидроэнергopotенциала достигнет 31,4 %.

К основной причине столь низкого использования экономически эффективных гидроэнергоресурсов Сибири следует отнести отдаленность проектируемых ГЭС от потребителей, что вызывает необходимость передавать вырабатываемую электроэнергию на большие расстояния. Это приводит к удорожанию ГЭС за счет ЛЭП на 30–40 % и более.

Есть и другой путь, который использовали до недавнего времени, – строить в связке с ГЭС крупные заводы и металлургические энергоемкие предприятия. Однако в условиях отсутствия транспортной инфраструктуры это пока является нереальным. Но какие-то проблески здесь есть: в газете «Известия» [2005 г.] было сообщено, что глава РАО «ЕЭС» Анатолий Чубайс и хозяин «Русского алюминия» Олег Дерипаска договорились о возобновлении строительства Богучанской ГЭС. Предполагается, что это не только решит проблему надвигающегося энергодефицита в Сибири, но и обеспечит энергией новый алюминиевый завод, который планируется построить рядом.

Второй причиной является сложная ледотермическая обстановка в нижних бьефах крупных гидроузлов. Рассмотрим это на примере проектируемой Туруханской ГЭС, расположенной в 125 км от устья Нижней Тунгуски в районе Большого порога. Расчеты показали, что при проектных параметрах ГЭС (НПУ – 200 м, УМО – 188 м, установленная мощность 12 000 МВт, годовая выработка энергии 46 млрд кВт·ч) полынья выходит за пределы Нижней Тунгуски и вызывает зимние затопления г. Туруханска, что абсолютно недопустимо. Данную

проблему можно было бы решить путем резкого снижения подпорных уровней: НПУ – до 140 м, УМО – до 91,1 м, установленной мощности – до 4500 МВт, и выработки энергии – до 21 млрд кВт·ч. Однако при этом ГЭС становится экономически неэффективной. Поэтому следует искать другие пути к снижению теплового потока, поступающего в нижний бьеф, например, с помощью низконапорного контррегулятора, но это требует дополнительных проработок. Возможны и другие предложения.

Выше дан анализ гидроэнергopotенциала крупных и средних рек. Теоретический гидроэнергopotенциал малых рек Сибири в работе [Энергетические ресурсы..., 1967] оценен в 190,5 млрд кВт·ч, т.е. составляет 19 % от полного гидроэнергopotенциала крупных и средних рек.

Экономический гидроэнергopotенциал малых рек установить практически невозможно из-за отсутствия достоверных технико-экономических показателей по всем природным и строительно-хозяйственным условиям сооружения ГЭС на малых реках. Схемы энергетического использования малых рек также отсутствуют [Малая гидроэнергетика, 1989].

Таблица 1

Уточнение теоретических гидроэнергетических ресурсов крупных и средних рек Сибирского федерального округа

№	Субъект федерации	Объем годового стока, км ³			$K_{прив} \frac{\bar{W}_r}{\bar{W}}$	Теоретические гидроэнергетические ресурсы, млрд кВт·ч	
		в среднем за период до 1960 г. \bar{W}_r	в среднем за период 1930–1980 гг. \bar{W}'_r	% изменения		по работе [11] $\mathcal{E}_{теор}$	уточненные $\mathcal{E}_{теор} \cdot K_{прив}$
1	Республика Бурятия	102,0	97,1	–4,8	0,952	77,4	73,68
2	Республика Тува	62,9	45,5	–27,6	0,723	67,1	48,54
3	Алтайский край	50,3	55,1	+9,5	1,095	85	93,11
4	Красноярский край	916,0	933,4	+1,9	1,019	420,5	428,49
5	Иркутская область	310,0	309,4	–0,2	0,998	201,3	200,89
6	Кемеровская область	40,4	43,4	+6,2	1,069	24,9	26,63
7	Новосибирская область	60,0	64,3	+7,2	1,073	6,6	7,07
8	Омская область	39,2	41,1	+4,9	1,048	3,8	3,98
9	Томская область	185,0	181,9	–1,7	0,983	23,8	23,40
10	Читинская область	75,2	76,5	+0,5	1,005	82,2	82,64
	Итого	1841,0	1847,7	+0,4		992,6	988,43

Таблица 2

Экономически эффективные гидроэнергоресурсы Сибирского федерального округа

№	Субъект федерации	Уточненные теоретические гидроэнергоресурсы, млрд кВт·ч	Ср. коэффициент перехода к экономическим гидроэнергоресурсам	Экономические гидроэнергоресурсы, млрд кВт·ч	Удельная насыщенность, тыс. кВт·ч/км ²
1	Республика Бурятия	73,68	0,413	30,43	86,6
2	Республика Тува	48,54	0,413	20,04	117,5
3	Алтайский край	93,11	0,319	29,70	113,5
4	Красноярский край	428,49	0,413	176,97	73,7
5	Иркутская область	200,89	0,413	82,97	108,0
6	Кемеровская область	26,63	0,319	8,49	88,9
7	Новосибирская область	7,07	0,319	2,26	12,7
8	Омская область	3,98	0,319	1,27	9,1
9	Томская область	23,40	0,319	7,46	23,5
10	Читинская область	82,64	0,413	34,13	79,1
	Итого	988,43		393,72	77

Таблица 3

Характеристики действующих и строящихся* ГЭС и водохранилищ в Сибирском федеральном округе

(H – напор, м; F – площадь зеркала водохранилища, км²; V – полный, а $V_{плз}$ – полезный объем водохранилища, км³; $K = V_{плз} / F$, млн м³/км²; \mathcal{E} – запасы гидроэнергии, млрд кВт·ч)

Субъект федерации	Водоток	ГЭС	H	F	$\frac{V}{V_{плз}}$	K	\mathcal{E}
Алтайский край	Катунь	Катунская*	150	–	$\frac{8,8}{2,82}$	–	5,89
Новосибирская область	Обь	Новосибирская	19,8	1070	$\frac{8,8}{4,4}$	4,1	1,68
Красноярская область	Енисей	Саяно-Шушенская	217	633	$\frac{29,13}{144,67}$	23,17	23,3
		Майнская	15,2	–	–	–	1,7
	Ангара	Красноярская	101	2000	$\frac{73,3}{30,4}$	15,2	20,4
		Курейская	72	750	$\frac{13,4}{10,1}$	13,5	2,72
		Хантайская	54	1560	$\frac{23,5}{17,3}$	25,4	2,0
		Богучанская	71	2325	$\frac{58,2}{23,1}$	9,9	17,7
Иркутская область	Ангара	Иркутская	31	32960	$\frac{169,7}{47,65}$	32,5	4,1
		Братская	106	5467	$\frac{48,2}{48,2}$	8,8	22,4
		Усть-Илимская	88	1922	$\frac{58,9}{27,7}$	14,4	21,7
	Мамакан	Мамаканская	46,5	–	$\frac{0,10}{0,10}$	–	0,24

Примечание. Иркутское водохранилище создано в основном за счет подпора уровней оз. Байкал. При этом площадь озера увеличилась по отношению к естественной на 1465 км² или в пределах 5 %.

Несмотря на преимущества малых ГЭС перед средними и крупными (возможность энергоснабжения труднодоступных и отдаленных районов, низкая капиталоемкость, экологическая чистота, рыночный характер), их реализация вызывает большие затруднения вследствие значительных удельных затрат на 1 кВт или кВт·ч, отсутствия законодательной базы, обеспечивающей работу частного бизнеса, который составляет основу малой гидроэнергетики.

Таблица 4

**Использование экономически эффективных гидроэнергетических ресурсов
Сибирского федерального округа**

№	Субъект федерации	Экономически эффективные гидроэнергоресурсы, млрд кВт·ч	Годовая выработка электроэнергии действующих ГЭС, млрд кВт·ч	Использование, %
1	Республика Бурятия	30,43	0	0
2	Республика Тува	20,04	0	0
3	Алтайский край	29,70	0	0
4	Красноярский край	176,97	50,12	28,8
5	Иркутская область	82,97	48,44	58,4
6	Кемеровская область	8,49	0	0
7	Новосибирская область	2,26	1,68	74,3
8	Омская область	1,27	0	0
9	Томская область	7,46	0	0
10	Читинская область	34,13	0	0
	Итого	393,72	100,24	25,4

Литература

1. «Аргументы и факты», 2005, № 50.
2. *Арсеньев Г.С.* Основы управления гидрологическими процессами: водные ресурсы. – СПб: изд. РГТМУ, 2005 – 231 с.
3. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 199 с.
4. *Воскресенский К.П.* Норма и изменчивость годового стока рек СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1962.
5. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 112 с.
6. Газета «Известия», 2005, № 231.
7. Малая гидроэнергетика. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
8. Научно-техническая конференция: гидроэнергетика, новые разработки и технологии. Тезисы докладов. – СПб.: изд. ВНИИГ им. Б.В. Веденеева, 2005. – 304 с.
9. Энергетика СССР в 1976-80-х годах / Под ред. А.М. Некрасова и М.Г. Первухина. – М.: Энергия, 1977. – 287 с.
10. Энергетика СССР в 1986-90-х годах / Под ред. А.А. Троицкого. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 351 с.
11. Энергетические ресурсы СССР. Гидроэнергетические ресурсы. – М.: Наука, 1967. – 599 с.