

*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 CO<sub>2</sub> 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, м<sup>3</sup>/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/км<sup>2</sup>) 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 км<sup>2</sup>. Для примера, Куйбышевское водохранилище на р. Волга при напоре 25 м имеет площадь водного зеркала 5900 км<sup>2</sup>, 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 <sup>3</sup>			$K_{прив} \frac{\bar{W}_r}{\bar{W}}$	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 <sup>2</sup>
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, км<sup>2</sup>;  $V$  – полный, а  $V_{плз}$  – полезный объем водохранилища, км<sup>3</sup>;  $K = V_{плз} / F$ , млн м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup>;  $\mathcal{E}$  – 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 км<sup>2</sup> 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.