

**АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТОК РЕК, ВПАДАЮЩИХ
В МОРЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ¹**

© 2008 г. Д. В. Магрицкий

*Московский государственный университет**119991 Москва ГСП-1, Ленинские горы*

Поступила в редакцию 21.06.2006 г.

Рассмотрено воздействие водопотребления и водохранилищ на режим и водные ресурсы рек России, впадающих в моря Российской Арктики. Дана оценка воздействий водохранилищ на годовой и сезонный сток зарегулированных рек. Проанализирована продольная, до замыкающих створов, трансформация этого воздействия. Рассмотрены возможные варианты развития водохозяйственных мероприятий в бассейнах арктических рек в первой четверти XXI в.

Сток воды рек относят к ежегодно возобновляемым и наиболее доступным водным ресурсам. Это свойство речных вод придает им наибольшее практическое значение по сравнению с медленно возобновляемыми водными запасами или ежегодно возобновляемыми подземными водами. Другим важным для человека фактором выступает гидроэнергетический потенциал рек. Одновременное освоение водных и гидроэнергетических ресурсов рек, забор питающих реки озерных и подземных вод создают максимальное антропогенное воздействие на сток воды и его режим.

Больше всего в России освоены ресурсы рек, впадающих в Азовское, Каспийское и Балтийское моря. В 1986–1990 гг. антропогенное уменьшение годового стока Волги, Дона, Кубани, Урала и Терека с Сулаком составило 10, 28, 46, 31 и 30% соответственно [26]. Эксплуатация водохранилищ заметным образом изменила водный режим рек Свири, Нарвы, Урала, Волги, Сулака, Дона и Кубани.

В бассейнах рек Европейского Севера и Азиатской территории России масштабы, влияющей на реки хозяйственной деятельности, заметно меньше. Она практически не охватывает многие водные объекты региона, а на освоенных реках ее влияние часто затушевывается естественной изменчивостью гидрологических характеристик. Но в ряде случаев, например, на зарегулированных реках Сибири и Дальнего Востока, антропогенное воздействие распространяется на большие расстояния и достигает устьевых участков рек.

Опубликованные материалы не позволяют в полной мере выявить особенности и оценить масштабы этого воздействия. До недавнего времени изучению антропогенных изменений водного режима и водных ресурсов северных рек уделялось недо-

статочное внимание, что было закономерным следствием слабого освоения северных территорий, малого количества гидрологических постов и сложных условий проведения гидрометрических работ.

В настоящее время приоритет такого рода исследований не вызывает сомнений. Их значимость обусловлена отсутствием многих количественных оценок антропогенных изменений стока воды северных рек, необходимостью обеспечения безопасности производства и жизнедеятельности населения в условиях изменяющегося природопользования, важностью изучения гидрологических последствий глобального потепления климата и др.

Принимая во внимание размеры российской части водосборного бассейна Северного Ледовитого океана (СЛО), количество рек и многообразие форм антропогенного воздействия на водный сток, вся совокупность возникающих в связи с хозяйственной деятельностью вопросов не может быть рассмотрена в рамках одной статьи. Поэтому круг задач, поставленных в исследовании, был ограничен

определением масштабов водопотребления на водосборах арктических рек, его многолетней изменчивости и оценкой его влияния на величину водных ресурсов рек;

определением числа зарегулированных рек морей Российской Арктики и границ периодов с условно естественным и зарегулированным стоком;

количественной оценкой воздействия водохранилищ на годовой сток и водный режим рек, изучением его продольной трансформации ниже водохранилищ (вплоть до устьевых участков зарегулированных рек);

рассмотрением возможных изменений в антропогенной нагрузке в перспективе.

Другие виды хозяйственной деятельности и их гидрологическая роль из-за отсутствия надежных данных автором не рассматривались. Однако их

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 04-05-65032).

воздействие на сток и водный режим ряда рек является неоспоримым.

Исходными материалами для исследований послужили данные многолетних наблюдений на гидрологических постах (г/п) Росгидромета (всего 39 постов), переведенные в электронную форму, обработанные и проанализированные автором. Кроме того, были использованы данные справочных изданий “Союзводпроекта” и Государственного водного кадастра, информация с официальных сайтов участников водохозяйственного комплекса рассматриваемых территорий, ряд важных результатов предыдущих исследований. Среди последних особое место занимают [1–7, 9, 15, 18, 22–26, 28, 29, 31] и др.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕГИОНЕ И ЕГО РЕКАХ

Сток рек, впадающих в моря Российской Арктики, формируется на территории Кольского п-ова и Карелии, северной половины Восточно-Европейской равнины, Полярного Урала, Западной, Средней и Северо-Восточной Сибири, Восточного Казахстана, Китая и Монголии, Алтае-Саянской горной страны, Прибайкалья и Забайкалья, северного склона Чукотки и арктических островов.

Общая площадь водосборных бассейнов морей Баренцева, Белого, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского равна 13.286 млн. км². На долю Российской Федерации приходится 12.064 км² (90.8%), что составляет 70.7% всей площади нашей страны. Основная часть водосборного бассейна морей Российской Арктики приходится на водосборы морей Карского и Лаптевых, относящиеся, в основном, к бассейнам трех крупнейших рек страны – Оби, Енисея и Лены. Существенно меньшую площадь занимают водосборные бассейны Чукотского моря и западной части Баренцева моря.

На рассматриваемой территории (в пределах РФ) насчитывается >1629 тыс. малых, средних и больших рек [13]. Небольшая их часть впадает непосредственно в арктические моря. Их условно можно подразделить на реки малые (с площадью водосбора <2 тыс. км²), средние (от 2 до 50), большие (50–200), очень большие (200–1000) и крупнейшие (>1 млн. км²).

Крупнейшие реки региона (и страны) – это Обь, Енисей и Лена. Очень большими являются семь рек – Северная Двина, Печора, Хатанга, Оленек, Яна, Индигирка и Колыма, большими девять рек – Онега, Мезень, Надым, Пур, Таз, Пясины, Нижняя Таймыра, Анабар и Алазея. К средним может быть отнесено ~110 рек.

По данным В.И.Бабкина [20], средний годовой сток рек с российской части водосборного бассейна СЛО равен ~2900 км³ (67% общего стока рек России) или 55% [30] суммарного притока речных вод в

океан и Гудзонов зал. Около 54.3% указанной величины приходится, по оценкам автора, на сток Енисея (630), Лены (540) и Оби (408 км³/год); 29.2% – еще на 16 больших рек, и 16.4% – на ~1500 средних и малых рек.

Интенсивная хозяйственная деятельность характерна для Кольского п-ова и Карелии, бассейнов Северной Двины и Печоры, южной части бассейнов Оби, Енисея и Лены, добывающих районов бассейнов Пура и Колымы.

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ

Забор воды из водных источников в бассейне реки, сброс сточных и возвратных вод оказывают существенное воздействие на объемы, режим и качество водных ресурсов. Структура хозяйственной деятельности, масштаб и режим использования водных ресурсов зависят от особенностей водных объектов, физико-географических условий и социально-экономических показателей речных бассейнов. Динамика водопотребления и водоотведения согласуется с многолетними изменениями в масштабах и структуре хозяйственной деятельности в стране.

Водопотребление и водоотведение в РСФСР достигли наибольших значений во второй половине 1970-х и в 1980-х гг. До середины 1970-х гг. наблюдался интенсивный рост водопользования из-за постоянно растущих хозяйственных потребностей в воде и экстенсивного развития экономики. С 1975 по 1991 г. суммарный средний годовой водозабор в РСФСР составил 90–120, а объемы водоотведения – 60–80 км³ [2].

Основная часть этой воды использовалась в бассейнах рек южных морей России и Балтийского моря, где сосредоточен основной экономический потенциал страны, максимально развито сельское хозяйство и наиболее высока плотность населения. В бассейнах рек западной части водосборного бассейна Белого моря, Печоры, Лены, Индигирки и Колымы водозабор был небольшим (0.13 км³/год в 1990 г.), а для многих северных рек близок к нулю (табл. 1). Даже из наиболее освоенных в хозяйственном отношении рек – Северной Двины, Оби и Енисея – в эти годы изымалось всего 1.1, 17.7 и 5.1 км³ воды в год, или 1, 4.3 и 0.8% их нормы стока соответственно, а из рек Мурманской обл. – 2.3 км³/год (1990 г.), или 4.4%. Поскольку эти объемы сравнимы с погрешностями расчета среднегодового стока воды, можно говорить об отсутствии статистически значимого изменения водных ресурсов северных рек вследствие промышленного, сельскохозяйственного и коммунально-бытового водопотребления. Но в отдельных районах, например, в Обь-Иртышском бассейне, хозяйственная нагрузка на водные ресурсы достигала предельных значений, и в них ощущался дефицит свежей воды.

Таблица 1. Соотношение объемов водозабора – числитель и водоотведения – знаменатель (в скобках разность между ними), км³/год, для российских рек бассейна СЛО [12]

Река	Сток в устье, км ³ /год	Годы									
		1981–1985		1986–1990		1992–1995		1996–2000		2001–2004	
Онега	16.2	$\frac{0.038}{0.030}$	(0.008)	$\frac{0.043}{0.035}$	(0.007)	$\frac{0.032}{0.024}$	(0.008)	$\frac{0.025}{0.018}$	(0.007)	$\frac{0.018}{0.013}$	(0.005)
Северная Двина	108	$\frac{1.166}{1.050}$	(0.115)	$\frac{1.201}{1.074}$	(0.127)	$\frac{1.119}{0.989}$	(0.129)	$\frac{0.909}{0.791}$	(0.118)	$\frac{0.857}{0.751}$	(0.106)
Мезень	27.4	$\frac{0.005}{0.004}$	(0.001)	$\frac{0.006}{0.005}$	(0.001)	$\frac{0.005}{0.003}$	(0.002)	$\frac{0.003}{0.002}$	(0.001)	$\frac{0.002}{0.001}$	(0.001)
Печора	130	$\frac{0.484}{0.375}$	(0.109)	$\frac{0.596}{0.491}$	(0.106)	$\frac{0.566}{0.476}$	(0.091)	$\frac{0.522}{0.438}$	(0.084)	$\frac{0.458}{0.375}$	(0.084)
Обь*	408	$\frac{17.818}{10.518}$	(7.300)	$\frac{17.675}{10.063}$	(7.612)	$\frac{9.843}{7.142}$	(2.701)	$\frac{9.324}{7.265}$	(2.059)	$\frac{9.267}{7.314}$	(1.953)
Енисей	630	$\frac{5.034}{4.221}$	(0.813)	$\frac{5.204}{4.253}$	(0.951)	$\frac{4.403}{3.457}$	(0.946)	$\frac{3.613}{2.828}$	(0.785)	$\frac{3.260}{2.711}$	(0.549)
Лена	540	$\frac{0.447}{0.360}$	(0.086)	$\frac{0.422}{0.294}$	(0.128)	$\frac{0.316}{0.212}$	(0.105)	$\frac{0.317}{0.221}$	(0.095)	$\frac{0.319}{0.224}$	(0.095)
Колыма	121	$\frac{0.138}{0.108}$	(0.030)	$\frac{0.108}{0.036}$	(0.071)	$\frac{0.106}{0.062}$	(0.043)	$\frac{0.082}{0.070}$	(0.012)	$\frac{0.066}{0.052}$	(0.014)

* До 1992 г. данные по водопользованию для территории СССР, после 1992 г. – для РФ.

В отличие от рек южных морей России основная часть изъятая в бассейнах рассматриваемых рек воды возвращается обратно в водные объекты. Разность этих величин характеризует, так называемое, безвозвратное водопотребление, которое приводит к систематическому снижению стока воды рек. В 1980-х гг. наибольший безвозвратный расход воды отмечался в Обь-Иртышском бассейне (7.5 км³/год), вследствие аридных условий водообеспечения, развитого сельского хозяйства и межбассейнового перераспределения стока в бассейнах верхней Оби и Иртыша (рис. 1).

Период относительной стабилизации антропогенного воздействия на водные ресурсы страны, обусловленный замедлением роста экономики и внедрением водосберегающих технологий, сменился периодом экономического кризиса, приведшего к значительному снижению объемов хозяйственного водопользования. К 1995 г. они уменьшились в стране на 20% по сравнению с 1989 г. [2]. В 1996 г. объемы водозабора и водоотведения в России составили 92.3 и 61.0, а в 2000 г. – 85.9 и 57.3 км³ соответственно.

В бассейнах рек арктических морей снижение объемов водозабора составило 20–40% (табл. 1). Больше всего сократилось водопотребление в бассейне Печоры (15%). В российской части бассейна Оби водозабор уменьшился на 23% в сравнении с 1983–1986 гг. Аналогичным образом, за исключе-

нием р. Колымы, снижались объемы водоотведения. В результате сокращение безвозвратных потерь воды достигло ~25–30%.

С конца 1990-х гг. произошла относительная стабилизация воздействия хозяйственной деятельности на водные ресурсы рек региона. В бассейне Лены объемы водопотребления немного возросли по сравнению с серединой 1990-х гг. Для многих северных рек они по-прежнему остаются близкими к нулю. Например, в бассейне Индигирки водозабор в 1997 г. составил всего 0.008 [7], а объем сброса сточных вод в водные объекты – 0.004 км³.

ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОСВОЕНИЕ РЕК И РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА

Гидроэнергетическое освоение российских рек водосборного бассейна СЛО началось в конце XIX в., но приобрело заметные масштабы только в 50–70-х гг. XX в. К XXI в. крупные гидротехнические объекты были сооружены на реках Кольского п-ова и Карелии, в бассейнах Оби, Енисея, Лены и Колымы. Значительные по протяженности участки речных русел были фактически превращены в каскады водохранилищ. В результате, сток зарегулированных рек претерпел существенные изменения. В ряде случаев эти изменения сохраняются до устьев рек и влияют на гидрологические условия прибрежной зоны.

Таблица 2. Основные сведения об объектах гидроэнергетики Кольского п-ова и Карелии в пределах бассейна Белого моря по [1, 6, 8, 15, 35] (здесь и в табл. 3, 4 прочерк – отсутствие данных; $V_{\text{плн}}$ и $V_{\text{плз}}$ – полный и полезный объемы соответственно)

Река	ГЭС	№	Расстояние от моря, км	Год ввода	Водохранилище	Характер регулирования	Площадь при НПУ, км ²	$V_{\text{плн}}$, км ³	$V_{\text{плз}}$, км ³
Паз	Кайтакоски	1	130	1959	Кайтакоски (оз. Инариярви)	Многолетнее	1100	4.955	2.455
	Янискоски	2	121	1950	Янискоски	Суточное	5.0	0.030	0.004
	Раякоски	3	110	1955	Раякоски	»	8.0	0.051	0.008
	Хеваскоски	4	96	1970	Хеваскоски	»	16.0	0.082	0.006
	Борисоглебская	5	4	1963	Борисоглебское	Недельное, Суточное	56.0	0.330	0.027
Тулома	Верхнетуломская	6	74	1963	Верхнетуломское (оз. Нотозеро)	Многолетнее	745	11.520	3.860
	Нижнетуломская	7	0.0	1937	Нижнетуломское	Недельное, Суточное	38.0	0.390	0.037
Териберка	Верхнетириберская	8	12.4	1984	Верхнетириберское (оз. Венчъявер)	Сезонное	31.1	0.452	0.290
	Нижнетириберская	9	0.2	1987	Нижнетириберское	Суточное	1.42	0.011	0.003
Воронья	Серебрянская-1	10	51	1970	Серябрянское-1 (оз. Ловозеро)	Многолетнее	236	2.860	1.570
	Серебрянская-2	11	26	1972	Серябрянское-2	Сезонное, Недельное	25.5	0.428	0.005
Нива	Нива ГЭС-1	12	27.9	1952	Имандра	Многолетнее	876	11.200	2.330
					Пиренгское	»	227	3.000	0.877
	Нива ГЭС-2	13	15.4	1934	Пинозеро	Недельное	17.6	0.079	0.043
Ковда	Нива ГЭС-3	14	6.2	1949	Плесозеро	Суточное	1.6	0.010	0.002
	Кумская	15	146	1962	Кумское (Топозеро, Пяозеро, Кундозеро)	Многолетнее	1910	9.830	8.630
	Иовская	16	79.0	1960	Иовское (Сушозеро, Рувозеро, Соколозеро)	Сезонное	294	2.060	0.545
	Князегубская	17	1.2	1955	Князегубское (Нотозеро, Ковдозеро, Сенное, Бабе, Беличье, Нерпозеро)	»	610	3.436	1.928
	Юшкозерская	18	189	1980	Юшкозерское (оз. Куйто)	Многолетнее, сезонное	657	4.748	1.254
	Кривопорожская	19	–	1991	Кривопорожское	Недельное	70.4	0.566	0.067
Нижний Выг (ББК)	Подужемская	20	20.0	1971	Подужемское	Суточное	12.0	0.024	0.011
	Путкинская	21	5.7	1967	Путкинское	»	6.4	0.049	0.003
	Ондская	22	–	1956	Выгозеро	Многолетнее, сезонное	1250	6.440	1.140
					Сегозеро		815	4.700	4.020
					Ондозеро		199	0.600	0.370
					Ондское вдхр.		21.2	0.068	0.037
	Палокоргская	23	44.0	1967	Палакоргское	Суточное	85.0	0.299	0.074
	Маткожненская	24	21.0	1953	Маткожненское	То же	19.0	0.082	0.017
	Выгостровская	25	11.0	1961	Выгостровское	»	4.6	0.018	0.002
	Беломорская	26	5.5	1962	Беломорское	»	2.24	0.007	0.001

Таблица 3. Основные сведения о водохранилищах в бассейнах сибирских рек по [1, 6, 8, 35]

Река	Водохранилище	Рас- стояние от моря, км	Годы на- полнения	Пло- щадь при НПУ, км ²	$V_{\text{плн}}, \text{км}^3$	$V_{\text{плз}}, \text{км}^3$	Высо- та плоти- ны, м	Водообмен		
								$W_{\text{год}}/V_{\text{плн}}$	$V_{\text{плз}}/W_{\text{пол}}$	$V_{\text{плз}}/W_{\text{год}}$
								год		
Обь	Новосибирское	2987	1956–1959	1070	8.80	4.40	28.2	5.88	0.135	0.080
	Бухтарминское	3165	1960–1967	5490	49.62	30.81	90.0	0.38	2.330	1.640
	Усть-Каменогорское	3086	1952–1959	37.0	0.66	0.04	65.0	29.80	0.003	0.002
Томь	Крапивинское	–	Строится	670	11.70	9.70	–	2.55	–	0.330
	Саяно-Шушенское	3013	1978–1983	621	31.34	15.30	234	1.49	0.430	0.330
	Майнское	2992	1984	11.5	0.12	0.07	17.0	388.70	–	0.002
Енисей	Красноярское	2378	1967–1970	2000	73.29	30.42	128	1.21	0.430	0.340
	Иркутское/с оз. Байкал	1714	1956–1959	154/1466	2.1/48.1	0.45/46.5	44.0	28.70	0.010	0.007
	Братское	1116	1961–1967	5478	169.3	48.20	125	0.54	0.790	0.530
Ангара	Усть-Илимское	928	1974–1977	1922	58.93	2.74	102	1.71	–	0.030
	Богучанское	444	Строится	2326	58.20	2.30	–	1.88	0.090	0.020
	Курейское	101	1988	558	9.96	7.30	81.5	1.96	–	0.370
Хантаяка	Хантайское	63	1970–1975	2120	23.52	12.81	65.0	0.75	–	0.720
Вилуй	Вилуйское-1, 2	1345	1967–1974	2176	35.88	17.83	75.0	0.55	1.140	0.910
	Вилуйское-3	1204	Строится	104	1.08	0.19	50.0	19.90	–	0.010
Колыма	Колымское	1893	1980–1989	443.4	14.40	6.56	130	0.99	0.900	0.460
	Усть-Среднеканское	1677	Строится	264	5.40	2.60	66.0	4.37	–	0.110

ных водохранилища, пять гидроэлектростанций и, в целом, ~50 гидротехнических сооружений.

Схема энергетического использования озерно-речных систем Кольского п-ова и Карелии такова, что одно или несколько подпертых озер регулируют сток для всего каскада ГЭС. Для пазских ГЭС эту функцию выполняет оз. Инари, для туломских – Верхнетуломское, для вороньинских – оз. Ловозеро, для нивских – оз. Имандра и Пиренгское водохранилище, для ковдских – Кумское (Топозеро и Пяозеро), для кемских – Юшкозерское (оз. Среднее и Нижнее Куйто), для нижневьгских – Выгозеро, Сегозеро и Ондозеро. Нижерасположенные гидроузлы образуют русловые или долинные приплотинные водохранилища, осуществляющие недельное, суточное и реже сезонное регулирование стока воды.

Ограниченные запасы водных ресурсов в степных и лесостепных районах бассейна Оби с развитой промышленностью и сельским хозяйством, с большим числом крупных населенных пунктов привели к необходимости создания здесь водохранилищ и систем переброски стока. Самым большим в пределах российской части бассейна является Новосибирское водохранилище с сезонным регулиро-

ванием стока (табл. 3). Оно введено в эксплуатацию осенью 1956 и заполнено до НПУ летом 1959 г. Наиболее крупное в бассейне Оби Бухтарминское водохранилище расположено в Восточном Казахстане. С 1960–1966 гг. оно осуществляет многолетнее регулирование стока Иртыша путем изменения объема воды в подпертом оз. Зайсан (площадью 1800 км²). Ниже по течению созданы Усть-Каменогорское и Шульбинское (с полезным объемом 1.8 км³ и площадью 255 км²) водохранилища.

К значительным по своим размерам в Обь-Иртышском бассейне относят Верхнетобольское (объем 846 млн. м³), Каратомарское (586), Сергеевское (690) и Петропавловское водохранилища в казахстанской части бассейнов Тобола и Ишима; Аргазинское (980) и Шершневское (176) на р. Миасс; Гилевское (471) на р. Алей в Алтайском крае; Большой Уват (231) в Тюменской обл.; Аятское (110), Рефтинское (142), Леневское (141) и Черноисточинское (111 млн. м³) в бассейне р. Туры, в Свердловской обл. Всего в бассейне насчитывается ~270 искусственных водоемов с общим запасом воды ~70 км³. При этом полный объем Новосибирского, Бухтарминского и Шульбинского водохранилищ

равен 61, а полезный объем – 36.7 км³, или 9% среднего стока Оби в устье.

Среди рек Азиатской территории России максимально освоены гидроэнергетические ресурсы Енисея с притоками. В бассейне реки насчитывается 39 водохранилищ. Семь наиболее крупных водохранилищ имеют суммарный полный объем 368.44 км³ и общую площадь 12850 км² (табл. 3, рис. 1). Полезный объем водохранилищ $V_{плз}$ составляет ~19% стока в устье Енисея. Долинные Саяно-Шушенское, Майнское и Красноярское водохранилища созданы в верхнем и среднем течении Енисея. Озерное Иркутское (с оз. Байкал), долинные Братское (самое большое в мире по величине объема среди долинных водохранилищ) и Усть-Илимское водохранилища преобразовали верхний и средний участок русла Ангары. Озерное Хантайское (на р. Хантайке) и долинное Курейское (на р. Курейке) водохранилища расположены на правобережных притоках нижнего Енисея, к северу от Полярного круга.

Водосбор енисейских водохранилищ занимает 44% площади бассейна Енисея. Здесь формируются ~36% водных ресурсов реки. Характер их влияния на речной сток во времени изменялся. Период естественного стока завершился в 1956 г. Годы наполнения Иркутского, Братского, Усть-Илимского, Красноярского и Хантайского водохранилищ (1956–1976 гг.) отражали возрастание регулирующего воздействия искусственных водоемов. Начало периода зарегулированного стока и дальнейшего освоения гидроэнергетических ресурсов Енисея датируется 1977 г.

Сток Лены не зарегулирован. Однако на ее притоке (р. Виллой) расположено Вилуйское водохранилище – одно из крупнейших в стране и первое в зоне сплошного развития многолетнемерзлых горных пород. Наполнение этого водохранилища происходило в 1967–1973 гг. Последний агрегат гидроузла был введен в эксплуатацию в 1976 г. Водохранилище оказывает заметное влияние на все характеристики режима среднего и нижнего Виллоя, а в ряде случаев и нижней Лены. Всего в бассейне Лены существует 12 искусственных водоемов общим объемом 36.201 км³ и площадью 2214 км² [8].

Перекрытие Колымы состоялось в конце 1980 г., но потребовалось еще несколько лет, чтобы довести параметры Колымского гидроузла до проектных. В 1982 г. Колымская ГЭС дала первую электроэнергию. В сентябре 1988 г. были закончены работы по наращиванию тела плотины, и к 1990 г. Колымское водохранилище было заполнено до проектных размеров при НПУ 450 м. С 1980 по 1988 г. НПУ был равен 390 м. Ему соответствовали полный и полезный объем 0.844 и 0.5 км³ соответственно, площадь водохранилища 59.2 км². В 1994 г. НПУ повысили до 451.5 м, и объем вырос до 15.031 км³. Таким образом, начало глубокого регу-

лирования стока верхней Колымы датируется 1989 г.

Водохранилища и реки

Гидроэнергетическое строительство ведет к изменению гидрографических характеристик рек и трансформации речного стока. К числу преобразованных участков отнесены водохранилища (верхний бьеф), находящиеся в подпоре вышележащие отрезки русла и нижние бьефы гидроузлов.

Длина нижнего бьефа равна длине русла, в пределах которого суммарная среднегодовое величина бокового притока достигает среднегодового стока в створе гидроузла [6]. Для Иртыша, Оби, Енисея, Ангары, Виллоя и Колымы она, по оценкам автора, равна ~2075, 450, 363, 928, 800 и 300 км соответственно (рис. 1). В этих границах, как правило, заметно срезаны пики половодья и паводков и поэтому редко затопляется пойма, существенно повышена водность реки в межень, хорошо различимо внутрисуточное и недельное регулирование, активизированы русловые процессы, доля водохранилищной воды превышает долю речной. Но воздействие водохранилищ на сток и его режим не исчезает и за пределами нижнего бьефа. Это происходит на более значительном удалении от плотины. Нередко оно достигает устьев рек. Поэтому протяженность нижнего бьефа лучше устанавливать по расположению створа полного смешения водных масс водохранилища и бокового притока реки, или при увеличении расходов воды в реке в два раза, по сравнению с их величиной у плотины ГЭС [32]. В этом случае длина нижнего бьефа не является постоянной величиной и изменяется со сменой гидрологического сезона. Она принимает минимальные значения при большом боковом притоке и максимальна в период межени, при истощении подземного питания реки и увеличения сбросов воды в нижний бьеф.

Степень и характер изменения стока воды и водного режима реки в створе плотины зависит от местоположения, параметров и режима эксплуатации водохранилища. Дальнейшая продольная трансформация техногенного воздействия определяется климатическими и геолого-геоморфологическими условиями, протяженностью, гидрографической структурой и гидрологическим режимом нижележащего участка реки и его частного водосбора.

Создание водохранилищ преобразует водные ресурсы рек и их водный режим. Изменение водных ресурсов обычно относят ко всей реке, а нарушение водного режима прослеживается на конкретных участках русла. Ранее всего прекращаются внутрисуточные колебания расхода, уровня и скорости течения. Наблюдениями в 1959 г. на Оби было установлено, что колебания уровней воды при суточном регулировании Новосибирской ГЭС распространя-

Таблица 4. Изменение годового стока воды рек, км³, бассейна СЛО под влиянием водохранилищ (с учетом данных [9, 12])

Бассейн и водохранилища	Изъятие стока на заполнение мертвого объема, км ³	Потери стока на испарение (км ³ /год)			Многолетнее регулирование стока***	
		всего	дополнительное			
			с водного зеркала	с зоны подтопления	наиб. накопление	наиб. сработка
Карелии и Кольского п-ова	38.75	−2.50**	—	—	—	—
Бассейн р. Оби	24.8	(5.25)	—	—	—	—
Новосибирское	4.40(0.13)*	0.59	0.16	0.02	1.98 (45)	−1.60 (36)
Бухтарминское	18.81	3.65	—	—	4.36 (14)	−11.8 (38)
Бассейн р. Енисея	251.40	18.00	1.45	0.48	—	—
Саяно-Шушенское	16.04	0.31	0.19	0.02	7.85 (51)	−0.78 (5)
Красноярское	42.87	1.24	0.61	0.32	16.30 (54)	−15.1 (50)
Иркутское	1.65(0.15)*	0.02/13.2**	—	—	0.15 (33)	−0.10 (22)
Братское	121.1 (7.35)*	1.94	0.29	0.03	26.00 (54)	−21.3 (44)
Усть-Илимское	56.19	0.60	0.18	0.01	1.78 (65)	−1.12 (41)
Курейское	2.66	0.17	0.04	0.03	—	—
Хантайское	10.71	−0.53**	0.14	0.07	—	—
Бассейн р. Лены	18.20	0.79	—	—	8.52	−5.63
Вилуйское	18.05	0.78	0.17	0.10	8.52 (48)	−5.63 (32)
Бассейн р. Колымы						
Колымское	7.84	0.13	0.03	0.02	—	—

* В скобках – на водонасыщение берегов и дна.

** В знаменателе – с учетом испарения с озер.

*** В скобках – относительно полезного объема водохранилища, %.

ются на участок длиной 100–110 км [10]. Влияние недельного регулирования на уровень воды становится малозаметным примерно в 500 км от плотины [3], т.е. в пределах нижнего бьефа Новосибирского водохранилища. Сезонное и межгодовое регулирование стока прослеживаются на более значительном расстоянии. Таким образом, можно выделить три характерных участка реки, находящихся под влиянием суточного регулирования, недельного регулирования, сезонного и многолетнего регулирования расходов воды [1].

Изменения среднего годового стока воды рек

Изменения среднегодового стока воды рек связаны, во-первых, с заполнением мертвого объема (МО) водохранилищ и первоначальным водонасыщением грунтов его ложа. Это так называемые единовременные потери, увеличивающие природные стационарные водные ресурсы бассейна. На заполнение МО большинства крупных равнинных водохранилищ речного типа расходуется, как правило, 5–10% среднегодового стока реки, а горных и предгорных – до 100% и более [9]. Поэтому процесс заполнения нерегулируемого объема водохранилищ

растягивается на несколько лет. Потери водного стока на насыщение грунтов ложа водохранилищ заметно меньше (табл. 4). При большом размере водоемов (например, Братское водохранилище) и соответствующих гидрогеологических условиях этот вид потерь стока может быть значительным.

В бассейне Енисея на заполнение МО водохранилищ к концу 1985 г. было затрачено 251 км³ воды, в бассейне Оби – 24.8, Лены – 18.2 км³. Больше всего изменился сток Енисея, где на указанные цели потребовалось ~40% водных ресурсов реки. Основное сокращение стока происходило в 1960–1970-х гг. и особенно во время активного заполнения Братского водохранилища (1964 г.). На Вилуе и в нижнем течении Лены характер многолетних колебаний годового стока был заметно нарушен в 1967–1973 и 1969–1973 гг. соответственно.

Испарение воды с акватории водохранилищ является фактором постоянного уменьшения объема стока рек. Оно максимально у рек, имеющих каскады крупных водохранилищ (Енисей, Ангара), а также на территориях с большой концентрацией водоемов (Карелия и Кольский п-ов), в случае их сосредоточения в аридных районах бассейна (Обь) (табл. 4).

Всего в российской части бассейна СЛО с поверхности водоемов может испаряться $\sim 26.7 \text{ км}^3$ воды в год. При этом исключение данных по озерным водохранилищам, с входящими в их состав природными водоемами, снижает эту величину более чем в два раза.

Испарение оказывает воздействие на величину стока всегда. Поэтому, оценивая реальное влияние водохранилищ на сток рек, необходимо рассматривать потери на дополнительное испарение, обусловленное превышением испарения воды с акватории искусственного водоема и с подтопленной зоны над испарением в естественных условиях. Оно составляет 16–75% потенциальной величины, приведенной в табл. 4.

Водохранилища не всегда уменьшают объем годового стока воды рек. “Срезание” паводков приводит к сокращению площади и продолжительности затопления поймы в нижних бьефах гидроузлов и, следовательно, к уменьшению потерь воды на испарение и инфильтрацию в почвогрунты. По оценкам Г.В. Пряхиной [25], в нижнем бьефе Новосибирского водохранилища в 1964–1987 гг. это снижение составило 2.6, ниже Красноярского водохранилища – 1.8 $\text{км}^3/\text{год}$ в 1972–1977 гг. Эти объемы превышают или сопоставимы с суммарными потерями стока на дополнительное испарение с поверхности этих водоемов (табл. 4).

Многолетнее регулирование стока рек водохранилищами почти не изменяет средний многолетний годовой сток рек. Оно влияет на среднегодовые расходы и межгодовую изменчивость колебаний стока. Изменения достигают очень больших величин, определяемых многолетними изменениями запасов воды в водохранилищах (рис. 2, табл. 3). Особенно это относится к рекам с каскадами водохранилищ (Енисей, Ангара) или к рекам с очень большими водохранилищами (Иртыш, Вилюй, Колыма). Предельная величина многолетнего регулирования стока ограничивается полезным объемом водохранилища, но обычно не превышает 50–60% этого объема. Причем максимальный объем накопления воды превышает для большинства водохранилищ максимальный объем их сработки.

Сезонное регулирование стока рек

Сезонное регулирование стока рек приводит к внутригодовому перераспределению стока и его выравниванию во времени и по величине. Особенности этого процесса зависят от водохозяйственного назначения и технических параметров каждого сооружения, от гидрологических и климатических факторов. Величина перераспределения возрастает при увеличении объема водохранилищ $V_{\text{плн}}$ и его регулирующей емкости $V_{\text{плз}}$ по сравнению с объемом стока воды за половодье $W_{\text{плв}}$ и за год $W_{\text{г}}$. Обычно наблюдается снижение водности рек в период поло-

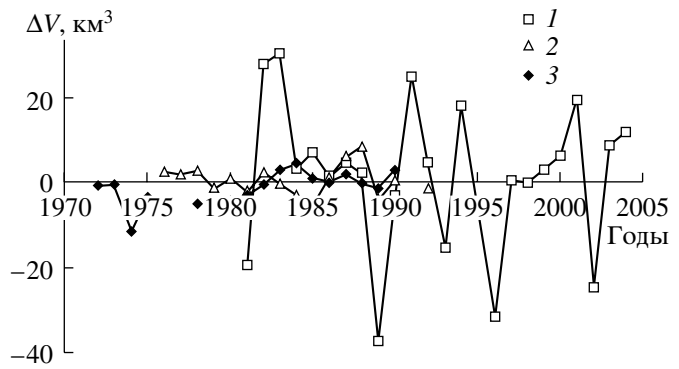


Рис. 2. Изменение запасов воды в водохранилищах на реках Енисей, Вилюй и Обь 1–3 соответственно.

водья и паводков и увеличение расходов воды в межень.

Наиболее значительное преобразование сезонного стока осуществляют Красноярское, Вилюйское и Колымское водохранилища (табл. 5). Сток половодья в нижних бьефах одноименных гидроузлов сократился на 27–51% по сравнению с его естественной величиной. Водность рек в летне-осенний период изменилась мало. В наибольшей степени возросла доля стока зимней межени (на 28–44%). Ангарские водохранилища, способные принять >50% стока реки (створ Усть-Илимской ГЭС), мало изменили режим Ангары из-за его высокой естественной зарегулированности оз. Байкал. Пониженная регулирующая роль Новосибирского водохранилища обусловлена малым $V_{\text{плз}}$ по сравнению с объемом стока весеннего половодья верхней Оби, особенно в многоводные годы.

Регулирующее влияние водохранилищ на сток рек прослеживается на расстоянии в сотни километров. Чаще всего оно затухает далеко от их устья. Однако есть и исключения. На Колымском п-ове и в Карелии водохранилища буквально примыкают к морскому побережью. Поэтому их воздействие в максимальной степени отражается на современном гидрологическом режиме устьевых областей зарегулированных рек. Эксплуатация водохранилищ вызвала уменьшение весеннего и увеличение зимнего стока в устьях рек Паза, Туломы, Вороньей, Нивы, Ковды и Нижний Выг. Ежемесячно в море поступает практически постоянная доля (7–9%) годовой величины стока. Лишь в июне (мае) она выше на 1–2%. Режим Кеми значимых изменений пока не претерпел, но отмечено заметное увеличение расходов воды в зимнюю межень.

На сибирских реках (вследствие большого удаления водохранилищ от арктического побережья) вдольрусовая трансформация воздействия искажает первоначальный характер техногенных изменений водного режима, уменьшает величину воздействия водохранилищ на сток и при определенных условиях возвращает его характеристики к есте-

Таблица 5. Характеристики водного режима рек в нижних бьефах ГЭС

Река, створ	Период	Распределение стока по сезонам, % годового			W, км ³ /год	Коэффициент внут- ригодовой не- равно- мерности стока	Средний многолет- ный характерный расход воды, м ³ /с	
		весеннее половодье	летнее – осенний сезон	зимняя межень			Q _{max}	Q _{min}
Нива, ГЭС-3	1925–1934	43.1	27.5	29.4	5.11	6.0	–	–
	1956–1988	23.2	23.4	53.4	5.05	1.3	230	75
Ковда, канал Князегубский	1925–1954	41.5	35.6	22.9	8.49	5.5	714	106
	1955–1988	27.9	32.7	39.4	8.74	1.4	560	47
Кемь, Путкинская ГЭС	1925–1966	48.2	34.0	17.8	8.11	5.1	700	78
	1967–1988	45.5	33.7	20.8	8.80	3.9	755	82
Нижний Выг, Мат- кожненская ГЭС	1913–1931	46.2	32.9	21.0	8.54	3.7	647	113
	1956–1988	33.7	34.4	31.9	8.20	1.3	572	133
Иртыш, Усть-Ка- меногорская ГЭС	1903–1960	55.6	25.5	18.9	19.8	5.7	2310	134**
	1961–1987	39.0	25.8	35.1	16.7	2.0	1780	236
Обь, Новосибирская ГЭС	1894–1956	67.6	22.0	10.4	55.0	16.2	7270	272
	1958–2003	57.9	23.7	18.4	49.7	5.8	4640	381
Енисей, Красноярская ГЭС	1955–1966	63.3	27.4	9.3	90.8	17.5	13 100	347
	1967–2001	35.9	26.6	37.5	83.5	1.4	4850	1700
Ангара, с. Богучаны	1931–1961	26.6	43.2	30.2	118	3.5	16400	1330
	1962–1999	22.3	33.8	43.9	109	2.4	11 300*	1270*
Вилуй, пос. Чернышевский	1926–1964	69.7	29.3	1.0	20.0	1007	–	–
	1959–1966	67.9	31.1	1.0	21.2	1017	7230	2.35
Колыма, пос. Синегорье	1968–1994	18.4	36.9	44.7	19.7	2.6	2030	154
	1933–1951	45.8	52.8	1.4	14.4	724	4510	1.64
	1968–1980							
	1981–1987	36.2	58.3	5.5	14.8	167	5670	1.61
	1992–2001	18.5**	44.1**	37.4**	14.4**	2.6**	–	–

* До 1988 г. включительно.

** Очень приблизительно.

ственным значениям. Дальше всего распространяются изменения режима зимней межени (рис. 3). В условиях резкого снижения запасов воды в речной сети и сокращения подземного питания зимой, уменьшения регулирующей роли поймы, а также возможного повышения зимнего стока вследствие современных изменений климата [30], техногенное увеличение расходов воды может сохраняться вплоть до устьев рек. Немного затушевывают эти изменения повышенное ледо- и наледообразование, а также сохраняющийся у больших рек в зимний период боковой приток. Влияние водохранилищ прослеживается зимой даже в том случае, когда искусственный водоем имеет небольшую регулируемую емкость (Обь) или находится в бассейне притока (Обь, Лена) (рис. 36). Для других фаз водного режима воздействие водохранилищ на водный режим присуще только рекам со значительным регулиро-

ванием стока. Важным фактором продольной трансформации нарушенного водного режима реки выступает водность года.

Существенные изменения водного режима Оби на участке от плотины Новосибирской ГЭС до г. Новосибирска оказываются уже не такими значимыми у г. Колпашево (564 км от плотины). В апреле–июле, августе–октябре и ноябре–марте 1957–2000 гг. сток в створе поста составил 124–92% (в среднем 96%), 99–102 (100) и 104–154 (119) естественного стока соответственно. У с. Белогорье (1834 км от плотины) под влиянием всех водохранилищ Обь-Иртышского бассейна и климатических факторов расходы воды в августе–октябре уменьшились до 92–96% (в среднем 94%) их значений в 1932–1956 гг., в зимние месяцы возросли до 98–128 (115), а во время весеннее–летнего половодья в среднем не изменились. Однако, в апреле они соста-

вили 116, а в июле – 93%. У г. Салехарда (2699 км) снижение летнее – осенних (в среднем 93%) и увеличение зимних (111%) расходов воды еще сохраняется. В апреле, июне и июле отмечено увеличение стока (до 101–118%), а в мае, наоборот, сокращение (до 98%). По мере удаления от створа плотины возникает и возрастает сдвиг по времени начала снижения весенне-летнего и начала увеличения зимнего стока. В Новосибирске они отмечены соответственно в апреле и августе, в Колпашево – в мае и октябре–ноябре, в Белогорье – в июне–июле и декабре, а в Салехарде – в августе и декабре.

Режим Иртыша в значительной мере формируется под влиянием эксплуатации Иртышского каскада водохранилищ. Выполненный автором статьи анализ изменений водного режима реки показал, что у г. Омска (в 1266 км от Усть-Каменогорской плотины) в 1966–1999 гг. сток в ноябре–марте и апреле увеличился до 158 и 147% соответственно относительно своих значений в 1936–1960 гг. Сток весенне-летнего половодья (исключая апрель) и летне-осеннего периода (август–октябрь), наоборот, уменьшился до 83 и 89% соответственно. Ниже устьев рек Ишим (с. Усть-Ишим, 2076 км) и Тобол (г. Тобольск, 2453 км) антропогенные изменения стока также проявляются, в том числе под влиянием водохозяйственных мероприятий в бассейнах этих притоков. Расходы воды зимних месяцев в этих двух пунктах возросли на 44 и 31% соответственно. В мае–июле расходы уменьшились на 9 и 5, а в августе–октябре – на 18 и 11%. С удалением от плотины Усть-Каменогорской ГЭС начало снижения весенне-летнего и увеличения зимнего стока Иртыша сдвигается соответственно с мая и сентября на июнь и октябрь у г. Омска, на май и ноябрь у с. Усть-Ишим и г. Тобольска.

Существенные изменения стока характерны для Енисея. В 34 км ниже Красноярской ГЭС (пос. Базаиха) расходы воды ноября–марта и апреля 1970–2001 гг. составили 398 и 188%, мая–июля – 47, августа–октября – 96% их значений в 1936–1961 гг. Ниже устья Ангары, у г. Енисейска (в 448 км от плотины) степень изменения стока уменьшается для ноября–марта (198%), апреля (184%) и мая–июля (70%) и увеличивается для августа–октября (86%) под влиянием уже ангарских водохранилищ. Впадение в реку крупных притоков, русловое и пойменное регулирование расходов нижнего Енисея способствуют дальнейшему уменьшению регулирующего влияния Ангаро-Енисейского каскада водохранилищ. Однако, оно не такое существенное, как на участке между плотиной ГЭС и г. Енисейском, хотя величина бокового притока в нижний Енисей превышает сток Ангары в 2.5 раза (до г. Игарки). Ниже устья р. Подкаменной Тунгуски (934 км от плотины) сезонный сток составлял 177, 194, 82 и 84%, а у г. Игарки (1805 км от плотины) – 158, 213, 92, и 86% соответственно. К устью Енисея еще большему увеличению зимних расходов воды

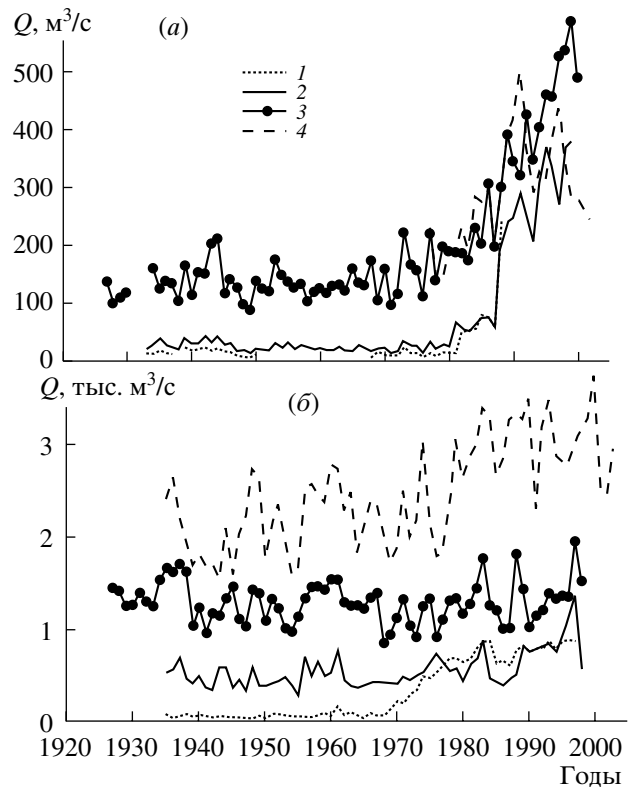


Рис. 3. Изменение средних за зимний сезон расходов воды. (а) – р. Колымы в створе плотины Колымской ГЭС 1, у пос. Усть-Среднекан 2, у г. Среднеколымска 3 и г/п Колымское 4; (б) – в нижнем 1 и среднем течении 2 р. Лены, в нижнем течении р. Алдана 3 и р. Вилюя 4.

способствуют попуски в нижний бьеф Хантайского водохранилища. Таким образом, в зарегулированных условиях водность Енисея в зимний период значительно возросла, а теплового сезона уменьшилась. При этом наибольшее относительное увеличение стока отмечено в марте (570–220%), а на замыкающем створе (г.Игарка) – в апреле (213%); а максимальное снижение стока – в июне (35 у пос. Базаихи и 61% у г.Енисейска), июле (69% у д. Подкаменная Тунгуска) и августе (79% у г/п Игарка).

На Ангаре, ниже плотины Иркутской ГЭС, месячный сток в зарегулированных условиях составляет 8–9% годовой величины. Увеличение стока произошло в декабре–июне (105–152% относительно его значений в 1928–1956 гг.), а уменьшение – в июле–ноябре (74–94%). Незначительны внутригодовые колебания месячного стока у г. Братска (7.2–9.2% годовой величины) и ниже плотины Усть-Илимской ГЭС (7–10%). Несколько больше изменения среднемесячных расходов в многоводные и меньше в маловодные годы. Расходы воды здесь увеличились в ноябре–апреле (Братская ГЭС – до 117–183%) и, наоборот, снизились в мае–октябре (62–87%). При этом максимум стока сместился на осень. К с. Богучаны (в 612 км от плотины Усть-

Илимской ГЭС) и, особенно, к д. Татарке (900 км) доля стока весенне-летнего половодья существенно увеличивается, но не достигает естественных значений. В мае–июне и июле–октябре 1962–1999 гг. сток воды у с. Богучаны составил соответственно 80–87 и 73–89%, в ноябре–апреле сток достиг 103–177% естественных значений.

Эксплуатация Вилуйского водохранилища привела к увеличению зимнего (ноябрь–апрель) стока Вилуя в 44 раза и, наоборот, уменьшению объема весеннего половодья (май–июнь) в 3.5–4 раза. Существенное увеличение водности июля (до 150%) и октября (196%) немного компенсируется ее понижением в сентябре (84%). По мере удаления от ГЭС влияние регулирования стока постепенно уменьшается, но увеличение зимнего стока остается таким же существенным [16, 33]. В 605 км от плотины ГЭС (с. Сунтар) он возрос в 1968–1998 в 25 раз по сравнению со стоком в 1935–1966 гг.; в 1223 км (пос. Хатырык-Хомо) – в 9.2; в 2240 км (с. Кюсюр, р. Лена) – в 1.2 раза соответственно. Увеличение зимних расходов в низовье Лены совпало с началом эксплуатации Вилуйской ГЭС, увеличением зимнего стока Вилуя и в меньшей мере Алдана (рис. 3б). Существенная межгодовая изменчивость зимних расходов воды в низовье Лены обусловлена колебаниями стока средней Лены и Алдана. Изменения весенних и летне–осенних расходов воды Вилуя под влиянием водохранилища не достигают устья Лены. В устье Вилуя объем весеннего половодья сократился в 1.3 раза. Средняя водность июля–октября изменилась мало. При этом расходы воды в июле и августе возросли (до 103 и 111% их значений в 1935–1966 гг.), а в сентябре и октябре уменьшились (до 77 и 95%).

Основные изменения водного режима Колымы произошли после 1988–1990 гг. (рис. 3а) [33]. У плотины Колымского гидроузла относительные значения зимних расходов воды составили в 1992–1998, 2001 гг. 2690% естественных значений (1933–1951, 1968–1980 гг.), мая–июня – 40, июля–октября – 84%. В 227 км ниже плотины Колымской ГЭС (пос. Усть-Среднекан) зимние расходы воды в 1992–2001 гг. составили в среднем 1395% своих значений в 1948–1980 гг., мая–июня – 61, июля–октября – 100%. В 1209 км от плотины (г. Среднеколымск) они составили 334, 92 и 92%, а в 1578 км (г/с Колымское-I) – 260, 100 и 94% соответственно. Таким образом, на устьевой участок Колымы стало поступать больше воды с сентября по май – 118% (IX), 145 (X), 162 (XI), 172 (XII), 297 (I), 460 (II), 594 (III), 628 (IV) и 238% (V). В летние месяцы сток, наоборот, сократился (до 74–91%). Постоянный, из года в год, рост зимних расходов воды объясняется постепенным наращиванием параметров и мощности Колымского гидроузла и, видимо, климатическими изменениями водного режима притоков.

ВОЗМОЖНЫЕ АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА В XXI В.

Для большинства рек региона в первой четверти XXI в. следует ожидать увеличения объемов водопотребления на их водосборах и, видимо, достижения водохозяйственных показателей 1980-х гг. (табл. 1). Скорее всего, это не приведет к уменьшению стока воды рек в арктические моря, поскольку одновременно прогнозируется его климатическое увеличение [14, 19, 21, 30, 34]. С большой долей вероятности оно будет существенно больше возможного антропогенного снижения стока воды арктических рек, несмотря на неодноточный характер климатического изменения стока рек в первой половине XXI в. Его величина возрастает в восточном направлении, а также у рек с более высокой долей водосборной территории в высоких широтах.

Несмотря на прогнозируемое увеличение стока рек, в ряде районов российской части водосборного бассейна СЛО может сложиться напряженная водохозяйственная ситуация. В первую очередь, к ним относятся южные и уральские районы Обь-Иртышского бассейна, для которого прогнозируется климатическое уменьшение стока в первой половине XXI в. [21] и самый значительный, в сравнении с другими реками региона, рост водопотребления. Помимо восстановления прежних объемов промышленного, сельскохозяйственного и коммунально-бытового водопотребления, к росту водозабора здесь приведет, планируемое на территориях трех государств, крупное межбассейновое перераспределение стока воды рек. Во-первых, Китай планирует отбирать от 0.5–1 до 2–4 км³ воды Черного Иртыша в сооружаемый канал Черный Иртыш – г. Карамай протяженностью >300 км [36]. Во-вторых, рассматривается вопрос о переброске части вод Иртыша в направлении новой и быстро развивающейся столицы Казахстана – Астаны [17]. В-третьих, учитывая постоянно усугубляющийся в Казахстане и государствах Средней Азии водный кризис, по-прежнему обсуждаются планы переброски части стока Оби, Тобола и Иртыша в Приаралье (рис. 1). Как известно, существует несколько вариантов такой переброски стока, но приоритетное значение в 1970-х гг. приобрел Тургайский вариант, разработанный в институте Союзгипроводхоз. По нему, в частности, предусматривалось на первом этапе отбирать 25–27, а при реализации второй очереди – до 60 км³/год [27]. На реализацию этих планов требуется 15–25 лет. В-четвертых, губернатором Омской области принято решение о строительстве на Иртыше подпорной плотины, с целью поддержания требуемого водохозяйственного уровня воды в реке в условиях антропогенного и естественного снижения ее водности [11].

Преобладающая часть гидроэнергетических ресурсов России (>80%) находится в районах Сибири [26]. Поэтому именно здесь осуществляется и наме-

чается основное гидроэнергетическое строительство (рис. 1, табл. 3). В стадии сооружения находятся: крупное Крапивинское водохранилище на р. Томь (в 120 км выше г. Кемерово), 2-я очередь Шульбинского водохранилища на Иртыше (с полезным объемом 7.1 км³), Богучанский гидроузел в нижнем течении Ангары, Вилуйская ГЭС-3 в среднем течении Вилуя, Усть-Среднеканский гидроузел в среднем течении Колымы. Завершение работ на Богучанской ГЭС запланировано на 2011 г., по Усть-Среднеканской ГЭС – на 2010–2016 гг. 8 сентября 2004 г. состоялся пуск первого агрегата на Вилуйской ГЭС-3. На реках Карелии и Кольского п-ова намечается использование гидроэнергии рек Поной, Иоканга, Кереть и др., а также завершение строительства Белопорожской и Морской ГЭС на р. Кемь.

ВЫВОДЫ

Выполненные автором статьи исследования позволили рассмотреть и оценить (на современном материале) основные антропогенные воздействия на сток и водный режим рек России, впадающих в моря Северного Ледовитого Океана; гидрологические последствия водохозяйственной деятельности.

На режим и водные ресурсы рассматриваемых рек оказывают заметное влияние водопотребление на водосборах и эксплуатация водохранилищ. Водопотребление в бассейнах рек приводит к уменьшению годового стока воды рек. В отличие от рек Азовского и Каспийского морей безвозвратные водопотери для рассматриваемого региона соизмеримы и часто существенно меньше погрешностей расчета стока воды в устьях арктических рек. Однако, в отдельных районах, например, в Обь-Иртышском бассейне, уже сейчас ощущается дефицит свежей воды. Значимые же антропогенные изменения стока и водного режима рек, впадающих в арктические моря России, обусловлены в большей мере эксплуатацией крупных водохранилищ. Характер этих изменений многогранен, с индивидуальными для каждой реки чертами.

Уменьшение годового стока воды зарегулированных рек связаны с начальным заполнением водохранилищ и водонасыщением грунтов его ложа. Это – единовременные потери, которые нарушают естественный характер многолетних колебаний годового стока реки до момента достижения водохранилищем проектных отметок уровня. Поскольку единовременные потери зависят от объема и числа водоемов, наиболее явным оказалось снижение водности во время наполнения водохранилищ на Ангаре и Енисее, а также Вилуйского водохранилища.

Изменения годового стока рек происходят из-за увеличения испарения воды с затопленной и подтопленной зоны по сравнению с его величиной в естественный период, а также из-за уменьшения по-

терь воды в нижних бьефах гидроузлов на испарение с пойм и инфильтрацию в почвогрунты. Величины увеличения и уменьшения стока для сибирских рек в среднем сопоставимы и находятся в пределах точности расчетов стока. На реках Карелии и Кольского п-ова влияние второго фактора практически не ощущается.

Многолетнее регулирование стока рек водохранилищами почти не влияет на норму их стока, но заметно изменяет среднегодовые расходы и межгодовую изменчивость стока. Оно достигает в регионе больших величин, особенно, в бассейне Енисея.

Сезонное регулирование стока рек приводит к внутригодовому перераспределению стока и его выравниванию. На Кольском п-ове и в Карелии водохранилища расположены близко к морскому побережью. Поэтому их воздействие в максимальной степени отражается на современном гидрологическом режиме устьевых областей этих рек. В азиатской части водосборного бассейна наиболее сильное преобразование водного режима рек осуществляют Красноярское, Вилуйское и Колымское водохранилища. С удалением пункта наблюдений от гидроузла вдольрусловая трансформация воздействия искажает первичный (у плотины) характер техногенных изменений водного режима, уменьшает величину воздействия водохранилищ на сток и при определенных условиях возвращает его характеристики к естественным значениям. Дальше всего на сибирских реках распространяется техногенное увеличение водности зимней межени. Заметные изменения расходов воды в другие гидрологические сезоны обнаружены только в устьях Енисея и Колымы.

По мере увеличения объемов водопотребления и завершения строительства водохранилищ антропогенное воздействие на сток и водный режим рек региона возрастет. Наиболее напряженная водохозяйственная ситуация может сложиться в Обь-Иртышском бассейне. На фоне прогнозируемого здесь в первой четверти XXI в. естественного снижения стока воды следует ожидать существенного увеличения масштабов водопотребления в южных и уральских районах бассейна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б., Шарапов В.А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР. М.: Энергия, 1977. 400 с.
2. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Под ред. Зайцева И.С., Коронкевича Н.И. М.: Наука, 2003. 367 с.
3. Бейром С.Г., Востряков Н.В., Широков В.М. Изменение природных условий в средней Оби после создания Новосибирской ГЭС. Новосибирск: Наука, 1973. 143 с.
4. Вендров С.Л. Проблемы преобразования речных систем СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 207 с.

5. *Веретенникова Г.М., Леонов Е.А.* Оценка современного изменения внутригодового распределения стока крупных рек под влиянием водохранилищ // Сб. работ по гидрологии. Л.: ГГИ, 1982. № 17. С. 3–31.
6. *Вода России. Водохранилища.* Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2001. 700 с.
7. *Вода России. Речные бассейны.* Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2001. 536 с.
8. Водохранилища СССР. М.: Союзводпроект, 1988. 276 с.
9. *Вуглинский В.С.* Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 223 с.
10. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ. Новосибирское водохранилище и озера бассейна Средней Оби. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 155 с.
11. *Горбунов С.* Куда потечет Иртыш / www.kazpravda.kz. 25.11.2005
12. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Л.: СПб., 1981–2006.
13. *Доманицкий А.П., Дубровина Р.Г., Исаева А.И.* Реки и озера Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 105 с.
14. *Евстигнеев В.М., Акименко Т.А.* Возможные изменения стока рек северного склона Восточно-Европейской равнины к середине XXI в. // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 2005. № 5. С. 34–39.
15. *Литинская К.Д.* Водохранилища в системе водного хозяйства // Использование и охрана водных ресурсов бассейна Белого моря (в границах Карелии). Петрозаводск: Изд-во КарНЦРАН, 1994. С. 57–72.
16. *Магрицкий Д.В.* Естественные и антропогенные изменения гидрологического режима низовьев и устьев крупнейших рек Восточной Сибири. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2001. 22 с.
17. *Малахова О.* Дефицит воды – дефицит жизни / www.kazpravda.kz. 13.05.2004
18. *Малик Л.К.* Географические прогнозы последствий гидроэнергетического строительства в Сибири и на Дальнем Востоке. М.: ИГ АН СССР, 1990. 317 с.
19. *Манабе С., Везеролд С.* Изменение водных запасов в масштабах столетия вследствие глобального потепления // Тез. докл. Всемир. конф. по изменению климата. М.: Росгидромет, 2003. С. 14–15.
20. *Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А.* Гидрология. М.: Высш. шк., 2005. 463 с.
21. *Мохов И.И., Семенов В.А., Хон В.Ч.* Оценка возможных изменений гидрологического режима в XXI веке на основе глобальных климатических моделей // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39. № 2. С. 150–165.
22. *Ноговицын Д.Д.* Водные ресурсы Якутской АССР и их использование. Якутск: Якутскнигоиздат, 1985. 124 с.
23. *Одрова Т.В.* Изменение режима рек Енисея и Ангара в результате регулирования стока // Влияние ГЭС на окружающую среду в условиях Крайнего Севера. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. С. 84–95.
24. *Орлова Г.А., Савкин В.М.* Оценка вводно-ресурсной ситуации в Обском бассейне в связи с особенностями распределения и использования речного стока // Речной сток Обского бассейна и его использование. Новосибирск: Ин-т геологии и геофизики СО АН СССР, 1986. С. 5–29.
25. *Пряхина Г.В.* Оценка влияния крупных водохранилищ на сток рек в нижнем бьефе. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб.: СПбГУ, 2003. 22 с.
26. *Раткович Д.Я.* Актуальные проблемы водообеспечения. М.: Наука, 2003. 352 с.
27. *Тимашев И.Е.* Каспий, Арал и воды русских рек: природа, общество, XXI век // Вестн. Каспия. 2003. № 3 (41). С. 64–86.
28. *Шикломанов И.А.* Антропогенные изменения водности рек. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 302 с.
29. *Шикломанов И.А.* Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 333 с.
30. *Шикломанов И.А., Шикломанов А.И.* Изменения климата и динамика притока речных вод в Северный Ледовитый океан // Вод. ресурсы. 2003. Т. 30. № 6. С. 645–654.
31. *Эдельштейн К.К.* Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.
32. *Эдельштейн К.К., Гречушников М.Г., Еришова М.Г. и др.* Принципы и методы оценки преобразования рек гидроузлами // Гидроэкология: теория и практика. М.: Изд-во МГУ, 2004. Вып. 2. С. 106–127.
33. *Alekseevskiy N.I., Khristoforov A.V., Magritskiy D.V., Simonov Y.A.* The Runoff Changes of Arctic Basin Rivers // Proceedings of Taiwan-Russia Bilateral Symposium (I) – Development of Water Resources Technology. М., 2004. P. 93–117.
34. *Arnell N.W.* Climate change and global water resources // Global Envir. Change. 1999. № 9. P. 31–43.
35. <http://regtime.spb.ru/lenhydroproject>
36. <http://www.kisi.kz/old/Parts/ExtPol/Halabuzar.html>