

## ТЕХНОГЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕК РОССИИ\*

© 2017 г. М.Г. Гречушникова<sup>1,2</sup>, М.А. Самохин<sup>1</sup>, К.К. Эдельштейн<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», Москва, Россия

**Ключевые слова:** управление водными ресурсами, гидротехническое строительство, регулирование стока, водный баланс водохранилища, техногенная трансформация гидрологического режима реки, экологические последствия.



М.А. Самохин М.Г. Гречушникова К.К. Эдельштейн

Разработана методика параметризации величин техногенного потенциала регулирования стока (ТПР) в субъектах Российской Федерации на основе данных Государственного гидрологического

института о местных водных ресурсах, а также данных о соотношении суммарной величины полезной емкости больших водохранилищ (объемом 10 млн м<sup>3</sup> и более при НПУ) и суммарного объема надбазисного стока в зарегулированных ими реках. Природными характеристиками, используемыми для расчета и ранжирования ТПР, приняты средний многолетний объем местного базисного стока, формирующегося на территориях субъектов РФ, и доля надбазисного стока в суммарном объеме местного речного стока.

Объем надбазисного стока рассчитан по данным о местном стоке и его характерном внутригодовом распределении в соответствии с картой «Водный режим рек России и сопредельных территорий». Предложены градации величин гидрологических характеристик ранжирования факторов техногенного регулирования местного стока с территорий субъектов РФ. Выявлена недостаточность потенциала регулирования стока в пяти субъектах Российской Федерации. Отмечена целесообразность конкретизации расчетов увеличения техногенного потенциала регулирования речного стока в отдельных речных системах с учетом межгодовой изменчивости надбазисного стока.

\* Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 14-17-00155)

Регулирование стока водохранилищами – один из эффективных способов ограничения или предупреждения затопления территорий ниже гидроузла. Для оценки возможности эффективного управления водными ресурсами речных систем, гидрологический режим которых регулируется одним или несколькими одиночными водохранилищами, или их каскадом, в 2005 г. предложен показатель – техногенный потенциал регулирования (ТПР) речного стока [1]. ТПР представляет собой отношение суммарной величины полезного объема водохранилищ и объема емкости форсировки ( $\sum_n (W_{\Pi} + W_{\text{фор}})$ ) к объему стока рек рассматриваемой территории за его многоводные фазы ( $\sum_m Q_{\text{мф}} \cdot t$ ) при среднесуточных расходах воды ( $Q$ ), превышающих их среднегодовое значение за многолетний период гидрометрических наблюдений в створах, соответствующих местоположению гидроузлов-регуляторов речного стока:

$$\Theta = \sum_n (W_{\Pi} + W_{\text{фор}}) / \sum_n (\sum_m Q_{\text{мф}} \cdot t), \quad (1)$$

где  $n$  – количество водохранилищ;

$m$  – число случаев со среднесуточными расходами воды выше нормы;

$t = 86400$  с и  $Q_{\text{мф}} > \bar{Q}$  – среднего годового расхода воды за многолетний период, т. е. равного или больше значения «нормы» стока.

Показатель ТПР сходен с водохозяйственным коэффициентом емкости водохранилища  $\beta = W_{\Pi} / W_{\text{год}}$ , где  $W_{\text{год}}$  – норма годового стока зарегулированной реки [2]. Однако он лучше отражает возможность ограничения затоплений речных долин путем заблаговременного опорожнения полезной емкости водохранилищ в случаях прогноза притока объемов воды, соизмеримых с размером этой емкости, равной, по сути, проектной величине динамических водных ресурсов [3] того или иного водохранилища. И если коэффициент  $\beta$  характеризует конкретный водоем, то ТПР возможно рассчитать для административных или бассейновых территориальных единиц. При ТПР  $\Theta < 1$  динамические водные ресурсы реки в многоводную фазу стока превышают возможность их аккумуляции в водохранилищах. При наступлении такой фазы и прогнозе опасных расходов диспетчерская служба гидроузла обязана открыть все затворы водосбросных сооружений. Это вызывает уже техногенный паводок в нижнем бьефе, нередко сопровождающийся частичным затоплением долины и наводнением. Его размеры меньше на величину предварительно опорожненной полезной емкости водохранилища, но, тем не менее, это, как правило, приносит значительные убытки населению и хозяйству на урбанизированных после завершения строительства гидроузла пойменных территориях, расположенных ниже по течению реки. Убедительным примером такого неизбежного, но управляемого техногенного наводнения был пропуск части катастрофического паводка в 2002 г. гидроузлом Джердап на Дунае [4], потенциал регулирования которого оказался недостаточным, чтобы полностью предотвратить наводнение.

Часть годового стока реки, проходящая через гидрометрический створ при расходе воды, равном «норме» и меньше, называют базисным стоком реки, а его долю в годовом объеме стока – коэффициентом естественной зарегулированности стока  $\phi$  [5]. Поэтому вторая часть величины годового стока – объем стока  $\sum(Q_{\text{мф}} \cdot t)$  в многоводные фазы со среднесуточным расходом, превышающим «норму», и есть надбазисный сток реки в текущем году. Доля надбазисного стока в его годовом объеме является коэффициентом внутригодовой неравномерности стока  $d = 1 - \phi$ . Этот коэффициент используется как показатель условий регулирования стока для сравнения лет разной водности [5].

Межгодовая изменчивость соотношения объемов базисного и надбазисного стока бывает весьма значительной, поскольку зависит от географо-гидрометеорологических условий формирования речного стока на водосборе реки (водохранилища). Однако пространственная изменчивость этих условий обычно меньше (по сравнению с диапазоном их изменчивости в экстремальные по водности годы) на водосборах рек, расположенных в пределах одной географической зоны с достаточно однородными стокообразующими условиями. Цель работы – исследовать пространственную изменчивость ТПР на территории Российской Федерации.

#### МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СООТНОШЕНИЯ БАЗИСНОГО И НАДБАЗИСНОГО СТОКА В РЕГУЛИРУЕМЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАМИ РЕЧНЫХ СИСТЕМАХ

Для изучения пространственной изменчивости показателя ТПР речного стока на территории нашей страны использована созданная на основе [6] в 2000 г. на кафедре гидрологии суши географического факультета МГУ «База данных по водохранилищам России». Эта база данных служит основой информационной системы «Водоохранилища России», предназначенной для решения проблемных вопросов эксплуатации водных ресурсов отечественных водохранилищ. Набор возникающих тематических задач подразделяется на три класса в зависимости от необходимого информационного обеспечения и степени сложности решения:

- 1) задачи, требующие основной информации о всей совокупности больших водохранилищ. Их объем при НПУ не менее 10 млн м<sup>3</sup>, поэтому большинство из них вовлечено в целенаправленное диспетчерское регулирование речного стока;
- 2) задачи, предоставляющие возможность некоторых упрощенных управленческих решений с привлечением минимальной дополнительной информации;
- 3) задачи, требующие глубокого детального изучения с применением математических моделей гидрологического режима водохранилищ.

Несомненно, задача выявления степени неоднородности отдельных территорий и регионов по обеспеченности техногенным потенциалом регулирования стока полезной емкостью водохранилищ относится ко второму

классу. Она может быть решена с использованием основных данных, имеющих в базе, с привлечением двух дополнительных характеристик: гидрологической – величины объема питающего водохранилище надбазисного стока  $V_{\text{НБС}}$ , его проектной полезной емкости  $W_{\text{П}}$ . Причем, для разработки методики и предварительных оценок достаточно включить в базу данных среднее многолетнее значение  $V_{\text{НБС}}$  в млн м<sup>3</sup>/год за период гидрометрических наблюдений.

Для получения значения  $V_{\text{НБС}}$  использованы данные ГГИ о величине местного стока для административных единиц РФ. В проведенном исследовании принято административно-территориальное деление, а не бассейновый принцип, поскольку управленческие решения, финансирование и отчетность (в т. ч. база данных МЧС по наводнениям) реализуются именно на уровне администрации краев, республик и областей. Сведения о характерном внутригодовом распределении стока рек получены по материалам, использовавшимся при подготовке карты [7]. Для расчетов базисного стока по методике, изложенной в [8], использованы сведения о характерных расходах воды репрезентативных створов, выбранных [7] для каждого типа водного режима. В пределах административной единицы определяли площадь с характерным типом водного режима и рассчитывали средневзвешенный объем базисного стока с учетом местного годового стока по данным Государственного гидрологического института (ГГИ) (табл. 1). При этом из расчета исключались бессточные области и засушливые районы с временными водотоками.

Аргументом в пользу того, что принятая методика дает результаты оценки надбазисного стока, которые не противоречат известным в гидрологии закономерностям формирования структуры речного стока, служат графики статистической связи между удельными динамическими ресурсами местного стока субъектов РФ ( $y$ , мм/год) и их межгодовой изменчивости с рассчитанной долей надбазисного стока на этих территориях (рис. 1). Левый график рис. 1 демонстрирует общеизвестную закономерность увеличения внутригодовой неравномерности речного стока с уменьшением водообеспеченности территорий географических зон. Полученная линейная зависимость статистически значима ( $R = 0,48$  при  $R_{\alpha=1\%} = 0,364$  для  $n = 49$ ) [9]. Увеличение этой неравномерности из-за увеличения в годовом стоке доли надбазисного стока ведет к росту коэффициента вариации величины годового стока в его многолетнем ряду, на что указывает хорошо заметная тенденция связи, которая также статистически значима. Обе эти закономерности в виде тенденции прослеживаются и на аналогичных графиках, изображающих подобные связи между величинами тех же гидрологических характеристик для еще более крупных регионов – территорий семи федеральных округов РФ (рис. 2).

**Таблица 1.** Осредненное значение доли надбазисного стока за многолетний период для территорий федеральных округов России и административных территорий

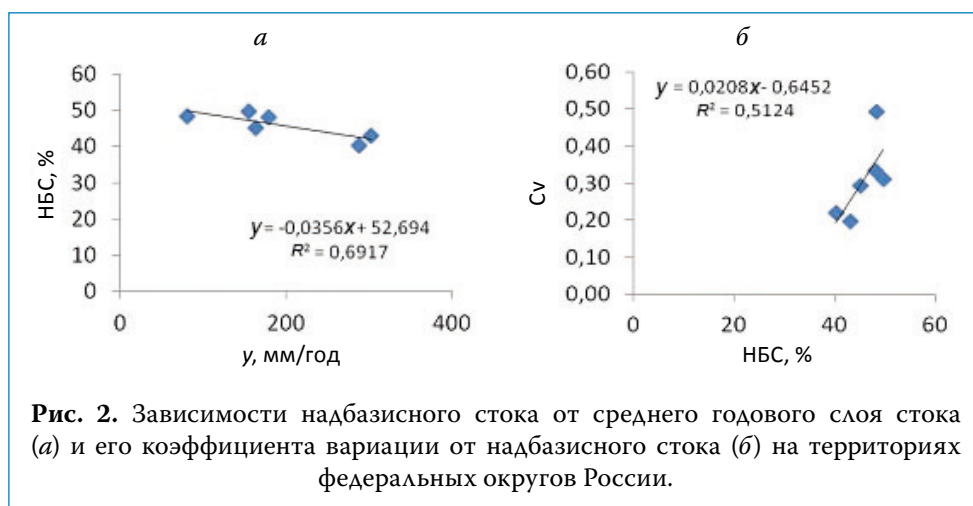
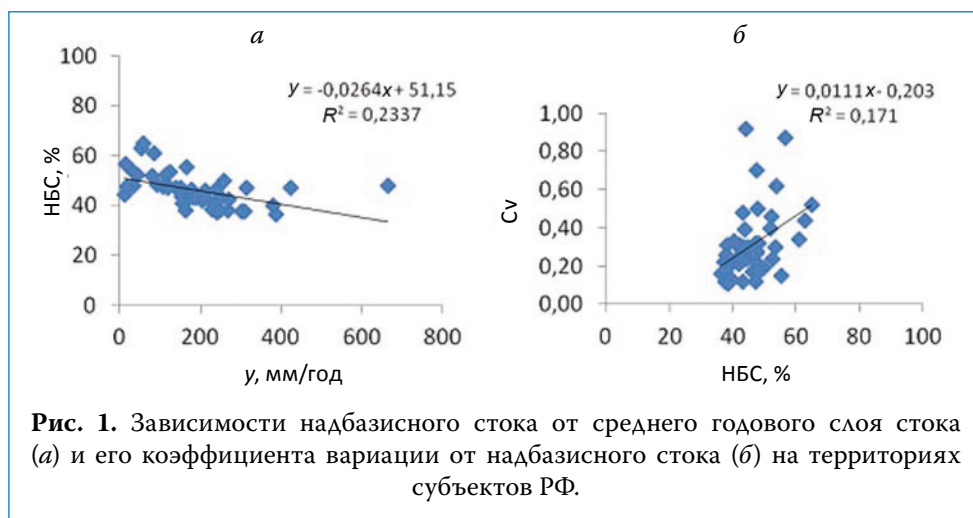
Административная территория	Местный сток (по данным ГГИ)			Базисный сток		Надбазисный сток	
	км <sup>3</sup> /год	мм/год	Cv	км <sup>3</sup> /год	φ%	км <sup>3</sup> /год	D%
Мурманская область	56	386	0,16	35,6	64	20,4	36
Республика Карелия	51,9	301	0,12	32,3	62	19,6	38
Ленинградская область	23,3	271	0,29	13,4	58	9,9	42
Новгородская область	13,9	251	0,25	7,9	57	6	43
Вологодская область	39,2	269	0,19	24,2	62	15	38
Республика Коми	158	380	0,13	95	60	63	40
Калининградская область	2,31	153	0,39	1,3	56	1,01	44
Тверская область	17,6	209	0,27	9,98	57	7,62	43
Смоленская область	10,3	207	0,24	5,73	56	4,57	44
Московская область	8,48	180	0,3	4,78	56	3,7	44
Ярославская область	6,94	191	0,48	3,95	57	2,99	43
Владимирская область	4,86	168	0,31	2,8	58	2,06	42
Ивановская область	4,47	205	0,21	2,6	58	1,87	42
Калужская область	5,35	179	0,29	2,87	54	2,48	46
Тульская область	3,88	151	0,22	2,05	53	1,83	47
Рязанская область	5,53	140	0,31	2,93	53	2,6	47
Белгородская область	2,51	92,6	0,32	1,3	52	1,21	48
Курская область	3,6	121	0,28	1,89	53	1,71	48
Липецкая область	2,59	107	0,27	1,36	53	1,23	47
Нижегородская область	12,1	157	0,23	7,14	59	4,96	41
Кировская область	29,1	241	0,22	18,2	63	10,9	37
Удмуртская Республика	8,92	212	0,26	4,82	54	4,1	46
Пермский край	49,7	310	0,18	30,9	62	18,8	38
Республика Татарстан	8,52	125	0,3	3,95	46	4,57	54
Пензенская область	5,2	120	0,32	2,74	53	2,46	47

**Продолжение таблицы 1.** Осредненное значение доли надбазисного стока за многолетний период для территорий федеральных округов России и административных территорий

Административная территория	Местный сток (по данным ГГИ)			Базисный сток		Надбазисный сток	
	км <sup>3</sup> /год	мм/год	Cv	км <sup>3</sup> /год	ф%	км <sup>3</sup> /год	D%
Самарская область	4,61	86	0,34	1,8	39	2,81	61
Республика Башкортостан	26,3	183	0,3	14,5	55	11,8	45
Саратовская область	5,49	54,8	0,44	2,04	37	3,45	63
Оренбургская область	7,36	59,4	0,52	2,58	35	4,78	65
Ростовская область	3,43	34	0,5	1,79	52	1,64	48
Волгоградская область	4,81	43,5	0,46	2,3	48	2,51	52
Краснодарский край	16	211	0,23	9,06	57	6,94	43
Республика Калмыкия	1,41	18,5	0,7	0,74	52	0,67	48
Ставропольский край	0,79	11,9	0,92	0,44	56	0,35	44
Республика Дагестан	8,33	166	0,15	3,72	45	4,61	55
Свердловская область	31,9	164	0,31	19,7	62	12,2	38
Тюменская область	344	240	0,17	184,3	54	159,7	46
Челябинская область	7,15	81,3	0,4	3,44	48	3,71	52
Курганская область	1,04	14,6	0,87	0,45	43	0,59	57
Новосибирская область	5,74	32,2	0,62	2,65	46	3,09	54
Алтайский край	19,5	115	0,24	9,27	48	10,23	52
Кемеровская область	40,4	423	0,17	21,3	53	19,1	47
Красноярский край	735	314	0,12	388,3	53	346,7	47
Иркутская область	175	228	0,11	107,6	61	67,4	39
Республика Саха (Якутия)	566	182	0,12	321,3	57	244,7	43
Амурская область	84,6	233	0,33	50,34	60	34,26	40
Магаданская область	118,9	258	0,19	59,6	50	59,3	50
Сахалинская область	57,8	664	0,17	30	52	27,8	48
Приморский край	41,3	249	0,26	23,5	57	17,8	43

*Примечание:* данные приведены без полизональных водосборов крупнейших водохранилищ. В таблице отсутствуют данные по Республике Крым, а также по Астраханской области из-за преобладающей доли транзитного стока.





Значения коэффициентов детерминации этих связей выше в три раза, чем на графиках рис. 1, но из-за малого числа коррелируемых пар значений гидрологических характеристик полученные зависимости статистически не значимы. Чем крупнее территории сравниваемых регионов, тем пространственно осредненные среднесуточные значения годового слоя стока, его межгодовой вариации и долей базисного и надбазисного стока рек сильнее сглаживают влияние локальных ландшафтных особенностей формирования соотношения этих двух составляющих речного стока, т. е. его структуры, и подчеркивают роль в стокообразующем процессе гидроклиматического фактора.

Большое разнообразие природных условий формирования местного стока на территориях субъектов РФ представлено в данных табл. 1:

- средний годовой объем местного стока в Красноярском крае ( $735 \text{ км}^3/\text{год}$ ) в 90 раз больше, чем в Ставропольском крае;
- удельный местный сток с  $\text{км}^2$  территории в Сахалинской области ( $664 \text{ мм}/\text{год}$ ) в 56 раз больше, чем на Ставрополье;
- межгодовая изменчивость местного стока ( $C_v$ ) на Ставрополье (0,92) в 8 раз превышает значение этого коэффициента на территории Иркутской области;
- средний годовой объем местного базисного стока в Красноярском крае ( $184 \text{ км}^3/\text{год}$ ) в 970 раз больше, чем в Республике Калмыкия.

Показателем соотношения базисного и надбазисного стока, формирующегося на водосборах водохранилищ, может служить коэффициент внутригодовой неравномерности стока  $d$ , приведенный в табл. 1. Данный коэффициент отражает среднемноголетние условия формирования речного стока и его структуру в природной зоне субъекта РФ, водное хозяйство которого эксплуатирует одно или несколько водохранилищ. При приблизительном равенстве долей годового стока значение  $d$  составляет 40–60 %. Если  $d < 40$  %, естественное регулирование стока обеспечивает столь большой базисный сток, что опасность наводнений минимальна. Если же  $d > 60$  %, риск затоплений местности в многоводные фазы и годы столь велик, что и сезонное, и многолетнее регулирование необходимо, причем не только противопаводочное, но и для устранения периодически наступающего дефицита динамических водных ресурсов в речной сети. Данные табл. 1 показывают, что диапазон различия значений коэффициента  $d$  в пределах 36–65 %, в 20 % из рассмотренных административных единиц  $d$  менее 40 %, в трех областях – более 60 %.

Исходные данные по объему ( $W$ ) водохранилищ при НПУ, их полезной емкости ( $W_{\text{п}}$ ) и техногенного потенциала регулирования (ТПР) больших водохранилищ, эксплуатируемых в субъектах РФ, представлены в табл. 2. В таблицу не включены водохранилища, в которых полезная емкость вообще не предусмотрена. Обычно – это водоемы транспортного и (или) рекреационного назначения, гидроэнергетические в составе каскадов крупнейших ГЭС – такие как Чебоксарское, Воронежское, Карамышевское, Нижнекамское водохранилища. Поэтому общее число рассматриваемых в данной работе техногенных водоемов составляет не 356, а 267 водохранилищ (с объемом более  $10 \text{ млн м}^3$ ), находящихся на территории 50 субъектов РФ. В остальных 24 субъектах РФ (не представленных в табл. 1 и 2) крупных водохранилищ нет из-за отсутствия потребности в регулировании стока (малая населенность и неразвитость водного хозяйства).



В некоторых областях страны водохранилищ мало и они, как правило, малого объема (в несколько десятков млн м<sup>3</sup>) – их полезная емкость не используется для управления режимом речного стока. Поэтому для таких водохранилищ в справочнике [6] объем половодья не указан (они также не представлены в табл. 2).

Для получения значения  $V_{\text{НБС}}$  зарегулированных речных систем в пределах административных единиц использованы данные о величине  $d$  из табл. 1. Для водохранилищ Волго-Камского каскада учитывали только местный объем стока, поскольку приток от вышерасположенной плотины предполагался полностью зарегулированным.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным табл. 2 произведено деление территории Российской Федерации по абсолютным и удельным характеристикам базисного и надбазисного стока регулируемых водохранилищами рек. В значительной мере степень изменчивости структуры речного стока (т. е. соотношения долей базисного и надбазисного стока на территориях субъектов РФ) определяется водообеспеченностью территорий и ее межгодовой изменчивостью (табл. 1). Показателями изменчивости структуры речного стока могут служить средний за многолетний период слой местного годового стока и его коэффициент вариации  $C_v$ , рассчитанные в ГГИ для местных рек за период 1936–2005 гг. [10].

Для решения управленческих задач по повышению безопасности водопользования необходимо ранжирование [11] представленных выше диапазонов различия гидрологических условий на территориях субъектов РФ, располагающих водохранилищами-регуляторами стока. Градации пространственной неоднородности распределения основных параметров структуры местного стока и возможности регулирования его надбазисной составляющей приведены в табл. 3.

Словесной характеристикой ТПР > 100 % (I ранг) можно считать «наличие запаса полезного объема водохранилищ для полного регулирования надбазисного местного стока на территории субъекта РФ», II ранг – «вероятен локальный дефицит ТПР стока отдельных рек», III – «вероятен территориальный дефицит ТПР стока в субъекте РФ», IV ранг – «острый дефицит ТПР местного стока» и V – «полное отсутствие водохранилищ-регуляторов стока».

Абсолютные величины базисной составляющей (км<sup>3</sup>/год), доли надбазисной составляющей удельной величины местного речного стока (в расчете на км<sup>2</sup>) в субъектах РФ, а также величин техногенного потенциала его регулирования с помощью полезной емкости эксплуатируемых в России больших водохранилищ ранжированы в соответствии с табл. 3.

**Таблица 2.** Техногенный потенциал регулирования речных систем с водохранилищами объемом более 10 млн м<sup>3</sup> в субъектах Российской Федерации

Административная единица	Количество водохранилищ	Бассейн реки	Объем водохранилищ, млн м <sup>3</sup>		V <sub>БС</sub> , млн м <sup>3</sup>	ТПР, %
			W	W <sub>П</sub> +W <sub>Ф</sub>		
Алтайский край	4	Обь	533	474	696	63
Краснодарский край и Республика Адыгея	7	Кубань	3553	2456	8235	40
Красноярский край	7	Енисей	104 770	45 782	56 927	91
Пермский край	8	Волга	22 190	13 367	66 902	33
Приморский край	7	Амур, Раковка, Артемовка	259	252	192	177
Ставропольский край	13	Кума, Дон, Кубань	2626	1653	5599	31
Амурская область	1	Амур	53 060	43 098	36 534	179
Астраханская область	3	Волга	199	152	276	35
Белгородская область	1	Дон	203	184	109	183
Владимирская область	1	Волга	14	11	27	56
Волгоградская область	4	Волга, Дон	333	76,4	40	177
Вологодская область	6	Нева, Волга, Северная Двина	8660	3349	6325	86
Нижегородская область	3	Волга	8840	2802	10247	39
Ивановская область	1	Волга	83	82	45	250
Иркутская область	3	Енисей	230 333	51 390	61 305	131
Калининградская область	1	Лава	21	14	549	3
Калужская область	1	Волга, Днепр	44	26	121	26
Кемеровская область	3	Обь	146	80	228	40

**Продолжение таблицы 2.** Техногенный потенциал регулирования речных систем с водохранилищами объемом более 10 млн м<sup>3</sup> в субъектах Российской Федерации

Административная единица	Количество водохранилищ	Бассейн реки	Объем водохранилищ, млн м <sup>3</sup>		V <sub>БС</sub> , млн м <sup>3</sup>	ТПР, %
			W	W <sub>П</sub> +W <sub>Ф</sub>		
Кировская область	5	Волга	124	96	486	31
Курганская область	1	Обь	28	21	171	9
Курская область	1	Днепр	95	32	575	6
Ленинградская область	9	Нева, Нарва	1424	770	63 663	2
Липецкая область	2	Дон	156	132	264	56
Магаданская область	2	Колыма, Каменушка	14 417	6577	7166	92
Московская область	15	Волга	1226	936	2243	53
Мурманская область	14	Паз, Тулома, Нива, Ковда	86 568	13 696	45 702	53
Новгородская область	5	Нева	711	318	354	119
Новосибирская область	2	Карасук, Обь	8810	4410	23 816	16
Оренбургская область	6	Урал, Волга	3422	2916	648	242
Пензенская область	2	Волга	581	509	830	50
Ростовская область	12	Дон	27 060	12 498	34 933	39
Рязанская область	1	Волга	64	35	163	24
Самарская область	7	Волга	58 201	34 740	53 006	42
Саратовская область	10	Волга	13 263	2000	10737	11
Сахалинская область	2	Гиляко-Абунан	20	13	10	135
Свердловская область	23	Обь, Волга	1070	737	2391	50

**Продолжение таблицы 2.** Техногенный потенциал регулирования речных систем с водохранилищами объемом более 10 млн м<sup>3</sup> в субъектах Российской Федерации

Административная единица	Количество водохранилищ	Бассейн реки	Объем водохранилищ, млн м <sup>3</sup>		V <sub>БС</sub> , млн м <sup>3</sup>	ТПР, %
			W	W <sub>П</sub> +W <sub>Ф</sub>		
Смоленская область	3	Днепр, Западная Двина, Волга	650	260	216	153
Тверская область	9	Нева, Волга	2823	2215	7994	48
Тульская область	5	Волга	210	112	246	51
Тюменская область	6	Обь	186	161	154	122
Челябинская область	13	Обь, Урал	2372	1868	1460	116
Ярославская область		Волга	26 665	17 479	27 810	83
Республика Башкортостан	3	Волга	1945	1328	6667	24
Республика Дагестан	4	Сулак	2933,5	1365,1	2863	39
Республика Калмыкия	1	Волга	29	27	15	191
Республика Карелия	28	Нева, Нижний Выг, Кемь, Суна	26 174	16 097	38 668	68
Республика Коми	1	Северная Двина	21	16	92	26
Республика Крым	8	Кача, Альма, Салгир, Улу-Узень	211	199	178	146
Республика Татарстан	2	Волга	115	89	180	42
Удмуртская республика	2	Волга	161	98	265	43
Республика Саха (Якутия)	5	Лена	35 989	17 897	11 311	210

Пространственное распределение полученных рангов представлено на рис. 3–6 наряду со среднемноголетними величинами местных водных ресурсов, выраженных в среднем годовом слое стока за период 1936–2005 гг. [10]. На рис. 5 и 6 серым фоном выделены территории, в пределах которых нет больших водохранилищ-регуляторов надбазисного речного стока.

**Таблица 3.** Градации величин гидрологических характеристик ранжирования факторов техногенного регулирования местного стока с территорий субъектов РФ

Среднемноголетняя характеристика стока	Признаки ранжирования территорий				
	I	II	III	IV	V
Слой местного стока, мм/год	>300	200–299	100–199	50–99	<50
Объем местного базисного стока, км <sup>3</sup> /год	>100	50–99	20–49	5–20	<5
Доля местного надбазисного стока, $d$ %	>80	60–79	40–59	20–39	<20
Техногенный потенциал регулирования, $\Theta$ %	>100	50–100	20–49	1–19	0

Полученные по пространственному распределению ТПР закономерности сопоставлены с «Базой данных по наводнениям мира (с детализацией по России)» [12, 13]. Из перечня наводнений выбраны события, связанные с повышенной водностью, не рассматривались случаи затопления при прорыве сооружений в аварийном состоянии и разливы при заторах. По числу наводнений за 1998–2010 гг. лидируют Карачаево-Черкесская Республика (9 случаев из-за отсутствия регулирующих емкостей), Приморье (7 – ливневые осадки), Дагестан (6 – продолжительные осадки, малая регулирующая емкость), Ставропольский край (6), Краснодарский край и Адыгея (6), Свердловская область (6), Красноярский край (6), Иркутская область (5 – отсутствие регуляторов на притоках Енисея), Республика Саха (5), Амурская область и Хабаровский край (по 5 случаев – трудности в регулировании сбросами ГЭС; интенсивные ливневые осадки, охватывающие большие территории; осложняющий прогноз горный рельеф) и Сахалинская область (5). Несмотря на большие значения ТПР в бассейне Кубани, основной проблемой остается заиление Краснодарского и Тщикского водохранилищ и отсутствие регулирующих емкостей в предгорьях. В Дагестане водохранилища расположены преимущественно в бассейне р. Сулак.

В большинстве случаев наводнения связаны с недостатком регулирующих емкостей, способных аккумулировать паводки и половодья редкой повторяемости, и трудностью прогноза ливневого стока.

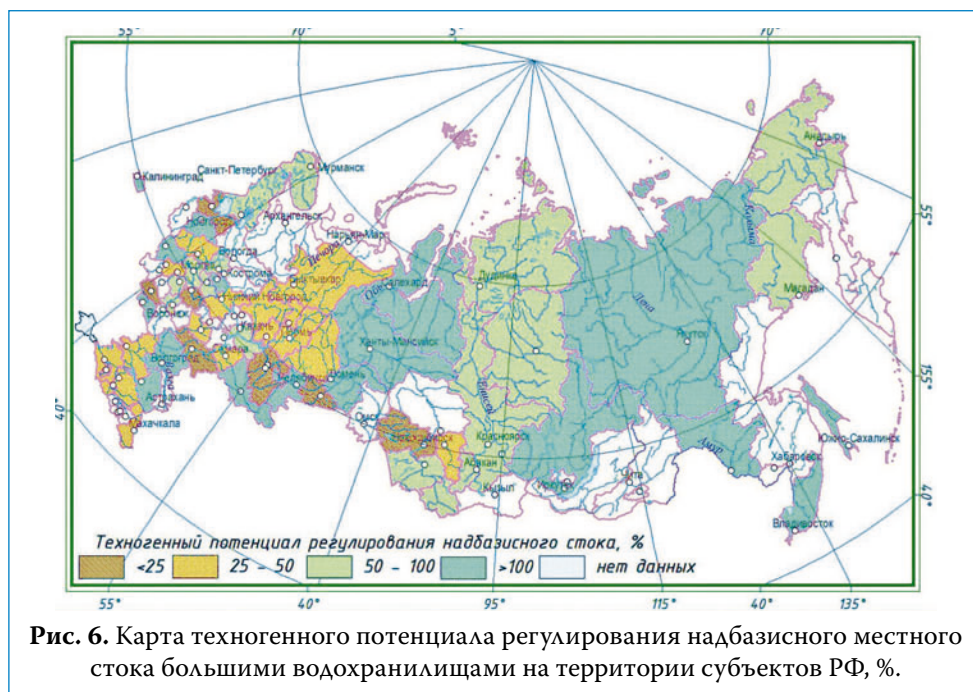
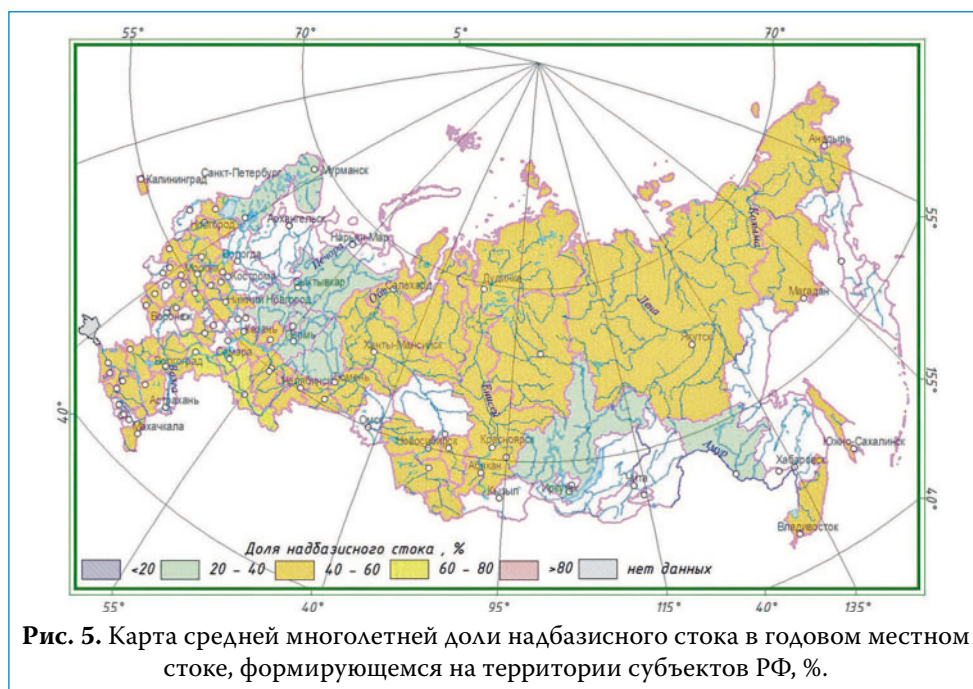


Рис. 3. Карта среднего многолетнего годового местного слоя стока, формирующегося на территории субъектов РФ, мм/год.



Рис. 4. Карта среднего многолетнего объема местного базисного стока, формирующегося на территории субъектов РФ, км<sup>3</sup>/год.





## ВЫВОДЫ

На основе расчета надбазисного стока и суммарной полезной емкости больших водохранилищ для субъектов РФ произведена оценка пространственной изменчивости техногенного потенциала регулирования речного стока. Выполнена визуализация среднего многолетнего объема базисного стока, доли надбазисного стока и техногенного потенциала регулирования надбазисного стока крупными водохранилищами в пределах субъектов РФ.

Выполненный расчет показал, что в соответствии с предложенными градациями ранжирования ТПР совершенно недостаточен в шести субъектах РФ: Калининградской, Курской, Саратовской, Курганской и Новосибирской областях. В пяти субъектах РФ, расположенных в пределах Европейской территории России, и в семи субъектах Азиатской территории России имеющийся техногенный потенциал на зарегулированных большими водохранилищами реках вполне достаточен для перераспределения объема местного притока воды за многоводные фазы.

При регистрации наводнений в областях с ТПР I–II ранга следует обратить внимание на развитие системы прогноза притока к гидроузлам, решение проблемы заиления водохранилищ.

В случае необходимости планирования размещения новых водохранилищ-регуляторов стока рек в многоводные фазы с целью ограничения размеров наводнений на территории того или иного субъекта РФ разработанная методика может быть модернизирована путем:

- определения ежегодной структуры стока (т. е. расчета годовых объемов базисного и надбазисного стока) незарегулированных рек по гидрографам за весь период наблюдений в имеющихся гидрометрических створах;
- гидрологических расчетов для уже зарегулированных рек с определением требующихся дополнительных объемов полезных емкостей водохранилищ для повышения имеющегося техногенного потенциала регулирования надбазисного стока.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эдельштейн К.К. Структурная гидрология суши. М.: ГЕОС, 2005. 316 с.
2. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1952. 392 с.
3. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 223 с.
4. Михайлов В.Н., Михайлова М.В. Паводок на Дунае в августе 2002 г. // Вестник Моск. ун-та. Сер. География. 2004. № 1. С. 81–88.
5. Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во МГУ, 1990. 304 с.

6. Справочник водохранилищ СССР. Ч. I. Водохранилища объемом 10 млн м<sup>3</sup> и более. М.: Союзводпроект, 1988. 323 с.
7. Карта «Водный режим рек России и сопредельных территорий» / под ред. В.М. Евстигнеева. МГУ–РосНИИВХ, 2001.
8. *Евстигнеев В.М., Магрицкий Д.В.* Речной сток. Методические основы современной практики гидрологических расчетов. М.: Изд-во Триумф, 2016. 224 с.
9. *Урбах В.Ю.* Биометрические методы. М.: Наука, 1964. 415 с.
10. Водные ресурсы России и их использование / под ред. И.А. Шикломанова. СПб: ГГИ, 2008. 600 с.
11. *Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Христофоров А.В.* Мониторинг гидроэкологических процессов и повышение безопасности водопользования. М.: МГУ, 2011. 408 с.
12. *Истомина М.Н., Добровольский С.Г.* База данных по наводнениям мира (с детализацией по России). Правообладатель ИВП РАН. Свид-во о гос. регистрации № 2015620292. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, 2015.
13. *Добровольский С.Г., Истомина М.Н.* К разработке концепции «управления ущербами» от наводнений в Российской Федерации // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. М.: ЦСЗ ГЗ МЧС. 2016. № 1 (10). С. 30–36.

#### **Сведения об авторах:**

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

Самохин Михаил Алексеевич, канд. геогр. наук, научный сотрудник, кафедра гидрологии суши, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы; e-mail: gidromiha@mail.ru

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