

ДИСКУССИИ

ВЛИЯНИЕ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА МИРОВОЙ РЕЧНОЙ СТОК

© 2020 г. Н. И. Коронкевич^а, *, Е. А. Барабанова^а, **, К. С. Мельник^а, ***

^аИнститут географии Российской Академии наук, Москва, Россия

*E-mail: koronkevich@igras.ru

**E-mail: barabanova@igras.ru

***E-mail: konsmelnik@gmail.com

Рассмотрено влияние урбанизированных территорий (ландшафтов), включающих в себя водонепроницаемые и слабоводопроницаемые, обладающие пониженной инфильтрационной способностью участки, на средний многолетний сток (норму стока) крупных регионов мира и мира в целом без учета водопотребления на этих территориях. Рассчитаны площади урбанизированных территорий за период исчисления нормы стока (до середины XX в.) и современные, а также их доля в общей площади рассматриваемых регионов и наиболее обжитой их части. Оценено современное (после середины XX в.) увеличение нормы стока в наиболее обжитой части этих регионов и общего стока в результате роста площади урбанизированных территорий и изменения их состояния. Определен общий сток, формируемый на площади урбанизированных территорий. Выполненные расчеты показали, что урбанизация ландшафтов – важный фактор увеличения стока. Речной сток, формируемый на урбанизированных территориях, исчисляется в целом для мира многими сотнями км³ в год, однако, судя по его доле в норме стока рассматриваемых регионов, влияние урбанизированных территорий на сток сравнительно невелико. Дана ориентировочная оценка возможного увеличения стока в будущем в результате роста урбанизированных территорий.

Ключевые слова: площадь урбанизированных территорий, крупные регионы, Россия, мир, наиболее обжитая часть, средний многолетний сток, увеличение

DOI: 10.31857/S086960712005002X

ВВЕДЕНИЕ

Рост урбанизированных территорий (ландшафтов) характерен практически для всех стран мира. Урбанизация (от латинского *urbs* – город) представляет собой по [13] исторический процесс разрастания городских территорий, увеличения численности их населения и роли в развитии общества. Урбанизированные территории включают в себя как практически водонепроницаемые участки (крыши домов, асфальтированные дороги), так и относительно слабоводопроницаемые участки (газоны, парки), почва в которых сильно уплотнена. Наличие участков с пониженной инфильтрационной способностью характерно и для сельских населенных пунктов, особенно современных, которые все в большей мере приобретают городские черты. Поэтому мы их тоже включаем в число урбанизированных ландшафтов. Отсутствие инфильтрации или слабая ее интенсивность приводят, как давно уже показали исследования в нашей стране и в мире, к увеличению поверхностного стока, снижению подземного стока, и, в целом, к увеличению суммарного речного стока [7–11, 14, 16, 17, 19, 21]. Существует мнение, что над городами, особенно большими, возрастает количество атмосферных

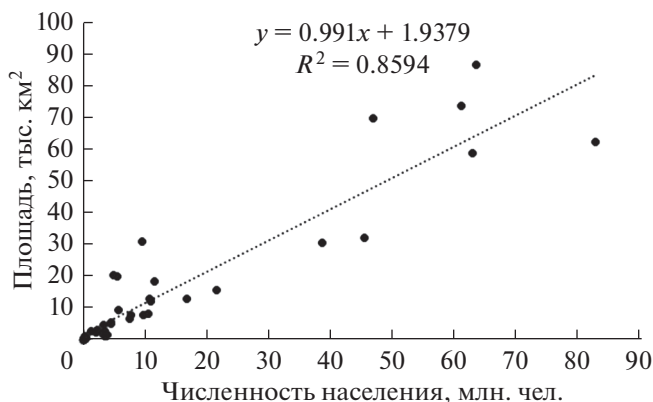


Рис. 1. Связь численности населения и площади урбанизированных территорий для стран Зарубежной Европы и России.

Fig. 1. The relationship between the population and the urbanized area for the countries of Foreign Europe and Russia.

осадков, но этот вопрос остается дискуссионным. Авторами данной статьи также были выполнены расчеты влияния урбанизированных территорий на сток ряда регионов и речных бассейнов [5, 6 и др.]. В настоящей работе на основе накопленного опыта выполнена оценка влияния урбанизированных ландшафтов на годовой сток крупных регионов мира, России и мира в целом без учета водопотребления в их пределах.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТОВ

Сначала по данным справочников определяются площади и население рассматриваемых регионов. Затем по карте плотности населения вычисляется площадь наиболее обжитой части этих регионов, исходя из предположения, что к ней в основном приурочены урбанизированные территории (УТ). За наиболее обжитую часть принята территория с плотностью населения более 1 чел./км². Определяется площадь урбанизированных территорий (ПУТ) на современном этапе и в период исчисления нормы стока, за который принят, согласно [12], период до середины XX в., а также разница между ними, то есть современное увеличение ПУТ (“новая” ПУТ). Именно с этой разницей в основном связано современное увеличение стока под влиянием УТ, поскольку сток с них за период исчисления нормы стока на обжитой части того или иного региона уже учтен в величине общего стока рассматриваемых регионов. Для расчета общей современной ПУТ использованы данные, агрегированные из различных статистических справочников, в том числе данные Института политики землепользования Линкольна [15], картографические данные масштабного проекта OpenStreetMap [18], снимков Landsat из [20] и ряда других. ПУТ за период исчисления нормы стока находилась по графикам связи современной площади выявленных УТ в отдельных странах в пределах рассматриваемых регионов с современной численностью их населения. Пример такой связи для Зарубежной Европы и России представлен на рис. 1, а соответствующие уравнения для других регионов в табл. 1.

Как указано выше, разница общей ПУТ и рассчитанной по графикам связи с численностью населения ориентировочно характеризует современное увеличение ПУТ (“новую” ПУТ).

Величина среднего многолетнего речного стока большей части рассматриваемых регионов за период исчисления его нормы взята из [12], а с территории России из [2].

Таблица 1. Уравнения связи площади урбанизированных территорий (y) с численностью населения (x)**Table 1.** Equations of relationship for the area of urbanized territories (y) and the population (x)

Регионы мира	Уравнение регрессии
Зарубежная Европа и Россия	$y = 0.991x + 1.9379$
Зарубежная Азия	$y = 231.46x + 5328.6$
Северная Америка	$y = 2526.4x - 69825$
Южная Америка	$y = 691.91x + 3606.8$
Африка	$y = 165.7x + 1751$
Австралия и Океания	$y = 1536.5x - 279.94$

При этом сток Зарубежной Европы исчислялся вычитанием из общей величины стока Европы (3210 км^3) стока европейской части России (860 км^3), а сток Зарубежной Азии — вычитанием из величины ее общего стока (14410 км^3) стока азиатской части России (3143 км^3). Сток с выделенной обжитой части рассматриваемой территории находился графическим способом по картам изолиний стока, содержащимся в [1].

Удельная величина стока с ПУТ принята по данным [5, 6]. Согласно этим данным, один процент современного увеличения ПУТ (включая как водонепроницаемые, так и слабоводопроницаемые участки) увеличивает сток с площади крупных столичных агломераций тоже на один процент, а сток с площади небольших городов и других населенных пунктов, дорог между ними — на 0.5%. Последняя величина принята и для расчета стока со “старых” ПУТ (до середины XX в.). А для расчета стока с “новой” ПУТ (после середины XX в.) средняя величина увеличения стока принята в размере 0.75% при увеличении соответствующей площади на 1%.

В данной статье в отличие от наших предыдущих публикаций учтено и то, что сток со “старых” ПУТ стал выше за счет возросшей антропогенной нагрузки на них, особенно на слабоводопроницаемых участках, более качественного покрытия дорог, улиц и площадей, развития и совершенствования ливневой канализации. Сток с них на современном этапе приравнен к современному стоку с “новых” ПУТ. Учитывая полученные соотношения ПУТ и увеличения стока, а также ПУТ и ее динамику, определено процентное изменение стока в наиболее обжитой части в рассматриваемых регионах. Зная величину среднего многолетнего стока, несложно выразить это увеличение в $\text{км}^3/\text{год}$ и мм слоя, а сопоставляя его с общим средним многолетним стоком рассматриваемых регионов — процентное изменение последнего. Суммируя полученное изменение стока со стоком, формируемым на “старой” ПУТ, находим общий сток на современной ПУТ. О правомерности принятия одинаковых коэффициентов стока под влиянием УТ в разных регионах, как и о других допущениях, сказано в следующем разделе. Основные результаты примененного алгоритма расчетов приведены в табл. 2.

Для расчета будущего стока на урбанизированных территориях целесообразно ориентироваться на динамику численности населения, особенно городского.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде всего, отметим, что впервые выполнена оценка величины стока с площади наиболее обжитой части рассматриваемых регионов, которая для всего мира (без Антарктиды) составляет 30% от общего стока, изменяясь от почти 15% в Австралии с Океанией до 66% в Африке. Общая современная ПУТ больше всего в Зарубежной Азии (1.37 млн км^2), на которую приходится треть общей ПУТ в мире (свыше 4 млн км^2). Больше всего доля ПУТ в общей площади Зарубежной Европы (около 12%), наименьшая

Таблица 2. Расчет изменения стока в результате урбанизации территорий
Table 2. Calculation of runoff changes caused by urbanization

Показатели	Единица измерения	Зарубежная Европа	Россия	Зарубежная Азия	Северная Америка	Южная Америка	Африка	Австралия и Океания	Мир
Общая площадь	млн. км ²	6.5	17.1	30.4	24.2	17.8	30.1	8.9	135
Площадь наиболее обжитой части	млн. км ²	5.2	4.3	12.2	9.7	8	15	1.4	55.8
Современная ПУТ*	млн. км ²	0.75	0.19	1.37	1.07	0.34	0.27	0.05	4.04
ПУТ за период исчисления нормы стока ("старая")	млн. км ²	0.39	0.1	0.31	0.26	0.08	0.03	0.02	1.19
Современный прирост ПУТ ("новая")	млн. км ²	0.36	0.09	1.06	0.81	0.26	0.24	0.03	2.85
Доля современной ПУТ в площади наиболее обжитой части	%	14.4	4.4	11.2	11.0	4.3	1.8	3.6	3.0
Доля "старой" ПУТ в площади наиболее обжитой части	%	7.5	2.3	2.5	2.7	1.0	0.2	1.4	0.9
Доля "новой" ПУТ в площади наиболее обжитой части	%	6.9	2.1	8.7	8.4	3.3	1.6	2.1	7.2
Общий средний многолетний сток за период исчисления его нормы	км ³ /год	2350	4003	11267	8200	11760	4570	2390	44540
Средний многолетний сток с площади наиболее обжитой части	мм	362	234	371	339	661	152	269	330
	км ³ /год	1293	701	3050	2619	2400	3010	348	13421
	мм	249	163	250	270	300	201	249	241
Доля стока с площади наиболее обжитой части в общем стоке	%	55	18	27	32	20	66	15	30
Увеличение стока с площади наиболее обжитой части под влиянием "новой" ПУТ	%	5.2	1.6	6.5	6.3	2.4	1.2	1.6	4.0
	км ³ /год	67.1	11.0	199	164	58.5	36.1	5.6	541.3
Увеличение общего стока с площади регионов	%	2.9	0.3	1.8	2.0	0.5	0.8	0.2	1.2
Современное увеличение стока с площади "старой" УТ**	км ³ /год	24.2	4.1	19.4	17.6	6.0	1.5	1.2	74.0
Суммарное современное увеличение стока под влиянием УТ	км ³ /год	91.4	15.1	218	182	64.5	37.6	6.8	615.4
Суммарное современное увеличение стока под влиянием УТ по отношению к стоку с площади наиболее обжитой части регионов	%	7.1	2.2	7.2	6.9	2.7	1.3	2.0	4.6
Суммарное современное увеличение стока под влиянием УТ по отношению к общему стоку с площади регионов	%	3.9	0.4	1.9	2.2	0.5	0.8	0.3	1.4
Увеличение стока за счет УТ в период исчисления нормы стока	км ³ /год	48.5	8.2	38.8	35.1	12.0	3.0	2.5	148.1
Общее увеличение стока за счет УТ с учетом периода исчисления нормы стока	мм	140	23.2	257	217	76.5	40.6	9.3	763.6
	мм	186	122	188	203	225	151	186	189

* Площадь урбанизированных территорий.

** Урбанизированная территория.

доля ПУТ — в Австралии с Океанией (0.6%), составляя в среднем по миру 3%. Также в Зарубежной Европе наиболее велика доля ПУТ в площади наиболее обжитой части — 14.4%, наименьшая она в Африке (1.8%) при средней мировой 7.2%. Самый значительный прирост ПУТ по сравнению с периодом нормы исчисления стока произошел в Африке (в 9 раз), наименьший — в Зарубежной Европе и России (менее чем в два раза).

Наиболее велик средний многолетний сток (норма стока) в обжитой части Зарубежной Азии и Африки — более 3 тыс. км³/год, составляя суммарно около 45% стока в наиболее обжитой части мира. Наименьший он в Австралии и Океании — менее 3% стока в наиболее обжитой части мира и в России — около 5.2%. А вот слой стока в наиболее обжитой части мира довольно близок во всех рассматриваемых регионах, изменяясь в среднем менее чем в два раза — от немногим более 160 мм в России до 300 мм в Южной Америке, составляя в среднем по миру 240 мм.

На “новой” ПУТ, то есть, по существу, с середины XX в., сток возрос больше всего в Зарубежной Азии (почти на 200 км³/год) и Северной Америке (164 км³/год). Прибавка в стоке за счет этих регионов составила суммарно 67% общего увеличения стока на “новой” ПУТ (более 540 км³/год). Наименьшая она в Австралии с Океанией и России — немногим более 1 и 2% соответственно от суммарной прибавки стока в мире. С учетом же увеличения стока на “старой” ПУТ общий мировой сток возрастает более чем на 615 км³/год. При этом долевым вклад в эту сумму рассматриваемых регионов приблизительно сохраняется, хотя и несколько снижаясь для Зарубежной Азии и Северной Америки до 65%. Слой стока на общей ПУТ возрос в мире в среднем в 1.7 раза. Самая весомая прибавка к среднему многолетнему стоку в наиболее обжитой части имеет место в Зарубежной Европе, Азии и Северной Америке (порядка 7%), наименьшая в Африке (1.3%). Примерно на одном уровне (несколько более 2%) произошло увеличение стока в России, Австралии с Океанией и Южной Америке. Если сравнивать изменение стока в наиболее обжитой части с общим стоком, то самая значительная прибавка имеет место в Зарубежной Европе (около 4%), далее следуют Зарубежная Азия и Северная Америка (приблизительно 2%) при 1.4% в среднем для всего мира.

Общее увеличение стока на современной ПУТ, включая ту его часть, которая формировалась до середины XX в., оценивается в 763 км³/год, что в три с лишним раза превышает сток Волги, из которых более 470 км³/год или 62% приходится на Зарубежную Азию и Северную Америку (рис. 2). Воздействие урбанизированных территорий на мировой речной сток составляет более 1/3 общего антропогенного воздействия на него, приведенного в [3], но с обратным знаком.

Таким образом, получены весьма ощутимые в абсолютном измерении величины стока, формирующегося на УТ, хотя относительно общей величины стока (нормы) на рассматриваемых территориях они в целом сравнительно невелики, особенно если сопоставить с нормой только увеличение стока под влиянием ПУТ, которое для всего мира оценивается менее чем в 5% от величины стока в наиболее обжитой части и менее 1.5% от общемирового стока. Вместе с тем, эта прибавка, как отмечено выше, составляет примерно 7% стока в наиболее обжитой части в Зарубежной Европе, Азии и Северной Америке. В бассейнах рр. Шпрее, Москвы, Сены прибавка стока за счет урбанизации ландшафтов составляет в среднем 10%, а в бассейне Темзы — 20% [6].

Надо признать, что полученные результаты весьма ориентировочны, учитывая целый ряд принятых допущений. Но эти допущения, на наш взгляд, неоднозначно влияют на оценку гидрологической роли урбанизированных территорий. Преувеличивает ее допущение о том, что практически все урбанизированные площади находятся в наиболее обжитой части рассматриваемых регионов, так как средняя величина стока с наиболее обжитой части мира (240 мм) существенно ниже величины нормы мирового стока (322 мм). Соответственно, ниже и атмосферные осадки, значительная часть которых преобразуется в сток на урбанизированных площадях. Конечно, принятая гра-

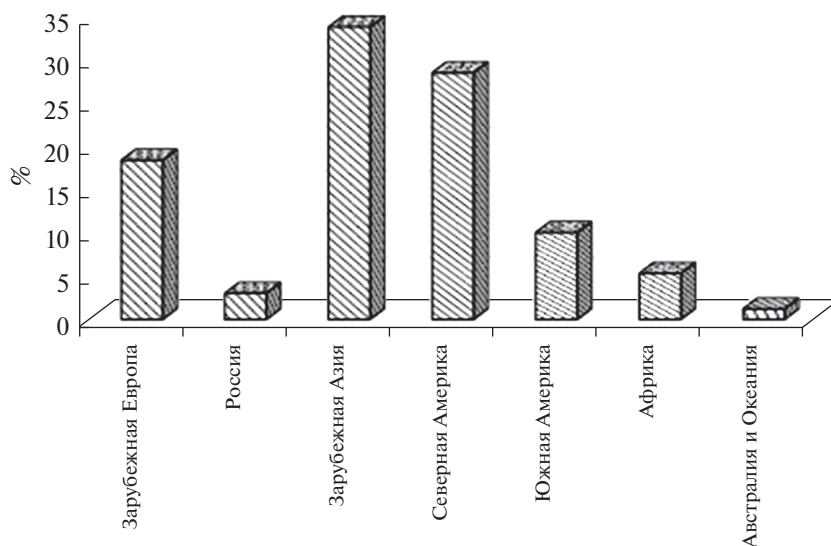


Рис. 2. Вклад отдельных регионов в общий сток с площади урбанизированных территорий в мире.

Fig. 2. Contribution of individual regions to the total runoff from urbanized areas in the world.

ница наиболее обжитой части мира — в среднем более 1 чел./км² — весьма условна, но на территориях со значением плотности выше этого показателя находится большинство населенных пунктов. Скорее всего, преувеличивает прибавку ПУТ в современный период, а, следовательно, и прибавку стока под влиянием УТ расчет площади урбанизированных территорий за период исчисления нормы стока по графикам связи современной ПУТ с современной численностью населения. В последние десятилетия новое строительство более экономно в целом расходует земельные ресурсы в расчете на душу населения. Вместе с тем, рост городского населения происходил более высокими темпами, чем общее население. Рассчитанная нами общая площадь урбанизированных территорий в мире (4.04 млн км²) ниже получившей широкую известность оценки Н.Ф. Реймерса (4.69 млн км² на 1980 г.) [13], которая представляется завышенной из-за того, что включает часть земель, используемых в сельском хозяйстве и в других целях, не связанных с уплотнением почв и увеличением стока. В РФ, согласно [4], в 2018 г. населенные пункты занимали 0.205 млн км², еще 0.175 млн км² отведено на нужды промышленности и иного специального назначения (всего 0.380 млн км²). Но примерно на половине этой площади территорию тоже нельзя отнести к водонепроницаемой или слабоводонепроницаемой. Остается 0.190 млн км², которые можно считать реально урбанизированными, что близко, хотя и несколько выше нашей оценки 0.170 млн км², что составляет от общей площади РФ 1.1 и 1.0% соответственно. При оценке достоверности полученных нами результатов важно еще раз отметить, что в наших расчетах не учтено и весьма вероятное увеличение атмосферных осадков над городами и, следовательно, увеличение стока с их территорий.

В статье сделано допущение, что в рассматриваемых регионах, отличающихся генезисом и сезонностью формирования стока, приняты практически одинаковые значения увеличения стока за счет урбанизированных территорий (в среднем в 1.7 раза). На территории России, значительной части Зарубежной Европы и Северной Америки сток, как известно, формируется в период весеннего половодья и на неурбанизиро-

ванных территориях коэффициент стока достигает высоких значений — 0.6–0.7 и выше. Прибавка стока здесь за счет УТ сравнительно невелика. Основной прирост стока достигается в летне-осенний, отчасти в зимний, период, когда коэффициенты стока, особенно поверхностного, на неурбанизированных площадях невелики. В районах с преобладающей дождевой составляющей речного стока, к которым относятся наиболее обжитые районы Зарубежной Азии, Южной Америки, Африки, Австралии с Океанией, да и основная часть Зарубежной Европы и Северной Америки, прибавка стока за счет урбанизированных ландшафтов сравнительно невелика в период обильных ливней, как и в период весеннего половодья в районах с преобладающим снеговым питанием, а основная прибавка стока на ПУТ происходит в засушливые периоды. То есть и в том, и в другом случае на большей части наиболее обжитой территории, за исключением ряда областей, расположенных около экватора, выделяются два периода — относительно высокой водности, когда влияние УТ на коэффициент стока сравнительно невелико, и низкой водности особенно в отношении поверхностного стока, когда это влияние наиболее ощутимо. В итоге коэффициент годового стока на наиболее обжитой части всех рассматриваемых регионов довольно близок, составляя в среднем около 0.3, хотя и изменяясь в довольно широких пределах в отдельных их частях. Относительно равные коэффициенты годового стока на неурбанизированных площадях дают основание полагать, что урбанизированные ландшафты оказывают на них приблизительно одинаковое воздействие. Конечно, данный вопрос, как и указанные выше другие допущения в расчетах, а также оценка влияния климатических изменений, нуждаются в дальнейшем изучении, но, как представляется, это не должно кардинально повлиять на полученные результаты влияния урбанизированных ландшафтов на годовой речной сток рассматриваемых крупных регионов.

Заметим, что полученное увеличение стока под влиянием УТ нередко перекрывается гораздо более существенным изменением стока под влиянием других антропогенных факторов (антропогенные изменения климата, лесное и водное хозяйство, богарное земледелие, гидротехническое строительство). Поэтому влияние урбанизированных территорий на сток трудно уловить, анализируя временные гидрологические ряды, и представление о размерах этого влияния, как и влияния многих других отдельных антропогенных факторов, дают, как в нашем случае, в основном балансовые расчеты.

Очевидно, что в будущем площадь урбанизированных территорий будет расти. Н.Ф. Реймерс [13] предположил, что практически все население мира к 2030 г. будет жить в поселениях городского типа, а к 2070 г. площадь урбанизированных территорий возрастет до 19 млн. км², то есть почти в 5 раз по сравнению с современным периодом. В таком случае приблизительно в такое же число раз возрастет и сток, формирующийся на площади урбанизированных территорий. Представляется, однако, что такое увеличение ПУТ является завышенным. Если считать, что рост ПУТ будет примерно соответствовать росту численности населения в мире, то можно ожидать, что площадь УТ и сток, формируемый на ней, возрастет в 1.13 раза к 2030 г., в 1.25 раза к 2050 г. и в 1.5 раза к 2100 г. по сравнению с 2015 г. Более быстрым может быть прирост ПУТ и стока, если ориентироваться на увеличение городского населения — в 1.3 раза к 2030 г. и в 1.7 раза к 2050 г. Данные оценки нуждаются, конечно, в более детальной проработке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют о том, что урбанизация ландшафтов становится одним из важных факторов роста речного стока. Общее увеличение стока, формируемого на площади урбанизированных территорий в мире, составляет, по нашим расчетам, более 760 км³/год. В настоящее время под влиянием урбанизации сред-

ний многолетний сток (норма стока, рассчитанная за период до середины XX в.) с площади наиболее обжитой части мира возрос на 4.6%, а общий средний мировой сток — на 1.4%. В наиболее обжитых частях Зарубежных Европы и Азии, а также Северной Америки увеличение стока составило порядка 7%, в отдельных же речных бассейнах он вырос на 10–20%. Еще бóльшим сток с урбанизированных территорий может стать в будущем.

Рост речного стока имеет как позитивные последствия (увеличение доступных водных ресурсов), так и негативные (рост паводочного стока с сопутствующими ему наводнениями, загрязнением рек и водоемов водой, стекающей с территории населенных пунктов и дорог). Увеличение стока в результате урбанизации территории соизмеримо по величине с влиянием других антропогенных факторов, которые часто действуют в сторону уменьшения стока и перекрывают это увеличение.

Еще раз отметим, что приведенные в статье результаты расчетов носят ориентировочный характер, особенно в отношении площади урбанизированных территорий в разные периоды и стока с них в различных природно-климатических условиях.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института географии РАН № 0148-2019-0007 (методические подходы) и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-00479 (результаты расчетов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас мирового водного баланса Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1974.
2. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 199 с.
3. Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
4. Государственный (национальный) доклад “О состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2018 г.”. М.: Росреестр, 2019. 198 с.
5. *Коронкевич Н.И., Мельник К.С.* Антропогенные воздействия на сток реки Москвы. М.: Макс Пресс, 2015. 168 с.
6. *Коронкевич Н.И., Мельник К.С.* Влияние урбанизированных ландшафтов на речной сток в Европе // Изв. РАН. Сер. геогр. 2019. № 3. С. 78–87.
7. *Куприянов В.В.* Гидрологические аспекты урбанизации. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 184 с.
8. *Курбатова А.С.* Ландшафтно-экологические основы формирования градостроительных структур Москвы. М.—Смоленск: Маджента, 2004. 400 с.
9. *Лвович М.И.* Вода и жизнь М.: Мысль, 1986. 256 с.
10. *Лвович М.И., Черногаева Г.М.* Изменение водного баланса территории под влиянием урбанизации // Проблемы гидрологии. М.: Известия АН СССР, 1978. С. 43–52.
11. *Лвович М.И., Чернышев Е.П.* Закономерности водного баланса и вещественного обмена в условиях города // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1983. № 3. С. 23–29.
12. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. М.: Гидрометеиздат, 1974. 638 с.
13. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование. Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
14. *Устюжанин Б.С.* Реакция речного стока на урбанизацию водосбора // Расчеты и прогнозы гидрологических характеристик. Сборник научных трудов. Вып. 103. Л.: ЛГМИ, 1989. С. 73–81.
15. Atlas of Urban Expansion. Lincoln Institute of Land Policy [2012]. URL: <http://www.atlasofurbanexpansion.org> (дата обращения: 04.07.2020).
16. *Choe J.S., Bang K.W., Lee J.H.* Characterization of surface runoff in urban areas // Water Sci. Technol. 2002. № 45 (9): 249–254.
17. *Li C., Liu M., Hu Y., Shi T., Zong M., Walter M.T.* Assessing the Impact of Urbanization on Direct Runoff Using Improved Composite CN Method in a Large Urban Area // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2018. № 5(4): 775–783.
18. Geofabrik Download Server. The OpenStreetMap data files. URL: <http://download.geofabrik.de/> (дата обращения: 04.07.2020).
19. *Angel S., Parent J., Civco D.L., Blei A.M.* Atlas of Urban Expansion. Massachusetts, Cambridge, 2012. 397 p.
20. U.S. Geological Survey (USGS). Галерея космических снимков Landsat. Интернет-портал [2020]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 04.07.2020).
21. *Espey W.H., Morgan C.W., Masch F.D.* Study of some effects of urbanization on storm runoff from a small watershed. Report № 23 for Texas water development board. The University of Texas, 1966.

110 p. URL: https://www.twdb.texas.gov/publications/reports/numbered_reports/doc/R23/R23.pdf (дата обращения: 04.07.2020).

Influence of Urbanized Territories on the World River Runoff

N. I. Koronkevich^{1, *}, E. A. Barabanova^{1, **}, and K. S. Mel'nik^{1, ***}

¹*Institute of Geography Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

*E-mail: koronkevich@igras.ru

**E-mail: barabanova@igras.ru

***E-mail: konsmelnik@gmail.com

The article considers the influence of urbanized territories (landscapes), including impermeable and poorly permeable areas with reduced infiltration ability, on the average long-term runoff (annual normal flow) of major regions of the world and the world as a whole. Water consumption in these territories is not taken into account. The areas of urbanized territories for the period of calculating the annual normal flow (up to the middle of the 20th century) and modern urbanized territories, as well as their share in the total area of the regions under consideration and in their most inhabited part, were calculated. The current (after the middle of the 20th century) annual normal flow increase in the most habitable part of these regions and the total runoff increase due to the extension of urbanized territories and their state transition are estimated. The total runoff formed on the area of urbanized territories is determined. The calculations showed that urbanization of landscapes is an important factor of the runoff increase. The world river runoff formed in urban areas is estimated in many hundreds of km³ per year, however its share in the annual normal flow of the regions under consideration shows that the influence of urbanized territories is relatively small. A rough estimate is given of a possible increase in runoff in the future as a result of the urbanization areas growth.

Keywords: urbanized area, major regions of the world, Russia, the world, most inhabited territory, average long-term runoff, increase

REFERENCES

1. Atlas mirovogo vodnogo balansa Zemli. L.: Gidrometeoizdat, 1974.
2. Vodnye resursy i vodnyj balans territorii Sovetskogo Soyuza. L.: Gidrometeoizdat, 1967. 199 s.
3. Vodnye resursy Rossii i ih ispol'zovanie. SPb.: GGI, 2008. 600 s.
4. Gosudarstvennyj (nacional'nyj) доклад "O sostoyanii i ispol'zovanii zemel' Rossijskoj Federacii v 2018 g.". M.: Rosreestr, 2019. 198 s.
5. Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. Antropogennyye vozdejstviya na stok reki Moskvy. M.: Maks Press, 2015. 168 s.
6. Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. Vliyanie urbanizirovannykh landshaftov na rechnoj stok v Evrope // Izv. RAN. Ser. geogr. 2019. № 3. S. 78–87.
7. Kupriyanov V.V. Gidrologicheskie aspekty urbanizacii. L.: Gidrometeoizdat, 1977. 184 s.
8. Kurbatova A.S. Landshaftno-ekologicheskie osnovy formirovaniya gradostroitel'nykh struktur Moskvy. M.–Smolensk: Madzhenta, 2004. 400 s.
9. L'vovich M.I. Voda i zhizn'. M.: Mysl', 1986. 256 s.
10. L'vovich M.I., Chernogaeva G.M. Izmenenie vodnogo balansa territorii pod vliyaniem urbanizacii // Problemy gidrologii. M.: Izv. AN SSSR, 1978. S. 43–52.
11. L'vovich M.I., Chernyshev E.P. Zakonomernosti vodnogo balansa i veshchestvennogo obmena v usloviyah goroda // Izv. AN SSSR. Ser. geogr. 1983. № 3. S. 23–29.
12. Mirovoj vodnyj balans i vodnye resursy Zemli. M.: Gidrometeoizdat, 1974. 638 s.
13. Rejmers N.F. Prirodopol'zovanie. Slovar'-spravochnik. M.: Mysl', 1990. 637 s.
14. Ustyuzhanin B.S. Reakciya rechnogo stoka na urbanizaciyu vodosbora // Raschety i prognozy gidrologicheskikh harakteristik. Sbornik nauchnykh trudov. Vyp. 103. L.: LGMI, 1989. S. 73–81.
15. Atlas of Urban Expansion. Lincoln Institute of Land Policy [2012]. URL: <http://www.atlasofurbanexpansion.org> (data obrashcheniya: 04.07.2020).
16. Choe J.S., Bang K.W., Lee J.H. Characterization of surface runoff in urban areas // Water Sci. Technol. 2002. № 45(9): 249–254.

17. *Li C., Liu M., Hu Y., Shi T., Zong M., Walter M.T.* Assessing the Impact of Urbanization on Direct Runoff Using Improved Composite CN Method in a Large Urban Area // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018. № 5(4): 775–783.
18. Geofabrik Download Server. The OpenStreetMap data files. URL: <http://download.geofabrik.de/> (data obrashcheniya: 04.07.2020).
19. *Angel S., Parent J., Civco D.L., Blei A.M.* Atlas of Urban Expansion. Massachusetts, Cambridge, 2012. 397 p.
20. U.S. Geological Survey (USGS). Galereya kosmicheskikh snimkov Landsat. Internet-portal [2020]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (data obrashcheniya: 04.07.2020).
21. *Espey W.H., Morgan C.W., Masch F.D.* Study of some effects of urbanization on storm runoff from a small watershed. Report № 23 for Texas water development board. The University of Texas, 1966. 110 p. URL: https://www.twdb.texas.gov/publications/reports/numbered_reports/doc/R23/R23.pdf (data obrashcheniya: 04.07.2020).