

УДК 556

## ВЛИЯНИЕ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА РЕЧНОЙ СТОК В ЕВРОПЕ

© 2019 г. Н. И. Коронкевич\*, К. С. Мельник

*Институт географии РАН, Москва, Россия**\*e-mail: hydro-igras@yandex.ru*

Поступила в редакцию 03.07.2018 г.; после доработки 04.12.2018 г.; принята в печать 24.01.2019 г.

В последние десятилетия во всем мире происходит быстрый рост урбанизированных территорий. В данной статье рассматривается влияние этого роста на годовой сток ряда речных бассейнов зарубежной Европы и Российской Федерации в целом. В основу расчетов положены разработки авторов по бассейну р. Москвы, которые показали, что 1% роста площади урбанизированных ландшафтов на современном этапе приводит к аналогичному увеличению стока, а 1% роста водонепроницаемых территорий в составе урбанизированных ландшафтов – к увеличению стока на 2–3%. В прошлом рост урбанизированных территорий приводил к меньшему (в 2–3 раза) увеличению стока из-за менее налаженной системы отвода воды с урбанизированных ландшафтов. Расчеты выполнены для бассейнов рр. Шпрее, Темзы, Сены в сравнении с бассейном р. Москвы. Рассчитано влияние на сток этих рек столичных городов – соответственно Берлина, Лондона, Парижа, Москвы, а также нестоличных урбанизированных территорий в их бассейнах и оценено общее влияние всех урбанизированных территорий. Расчеты показали, что по сравнению с периодом исчисления нормы стока (конец XIX в. – начало 1960-х годов) современные площади урбанизированных территорий привели к увеличению годового речного стока в среднем на более чем 9% в бассейне р. Шпрее, более 20% – Темзы, свыше 11% – Сены при около 10% в бассейне Москвы. Расчет для всей зарубежной Европы и РФ показал, что современное увеличение общего годового стока по сравнению с периодом исчисления его нормы составляет 2.2–4.5% и 0.2–0.3% соответственно, а по отношению к стоку с наиболее обжитой их части – 3.5–6.9% и 1–2%. В км<sup>3</sup> это выражается в следующих величинах – 44.9–89.8 (Зарубежная Европа) и 7.2–14.3 (РФ). Для всей же Европы, включая Европейскую территорию России (ЕТР), сток возрастает на 50–100 км<sup>3</sup> в год или почти на 2–4%. В процентном отношении это сравнительно небольшое влияние, хотя в объемном выражении приведенные величины в среднем почти соответствуют стоку такой реки, как Нева.

**Ключевые слова:** урбанизированные ландшафты, годовой речной сток, Москва, Лондон, Париж, Берлин, бассейны, Шпрее, Темза, Москва, Сена.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019378-87>

### ВВЕДЕНИЕ

Урбанизация представляет собой исторический процесс разрастания городских территорий, увеличения численности их населения и роли в развитии общества. К урбанизированным территориям часто относят и те, которые заняты сельскими поселениями, дорогами, аэродромами и т.п.

Урбанизированные территории включают в себя как практически водонепроницаемые участки (крыши домов, асфальтированные дороги), так и относительно слабоводопроницаемые участки (газоны, парки), почва на которых сильно уплотнена. Площадь городов, дорог, населенных пунктов и т.п. быстро нарастает во всем мире. Особенно это относится к городам. Урбанизированные территории, как правило,

отличаются пониженной инфильтрационной способностью или даже полным ее отсутствием, повышенным поверхностным и полным речным стоком. Долгое время, пока их площадь была сравнительно невелика, гидрологическая роль этих площадей считалась сугубо локальной и в отношении стока средних и крупных речных бассейнов оценивалась как незначительная. Эта точка зрения стала подвергаться сомнению в середине XX в. В СССР это особенно связано с обобщающей работой В.В. Куприянова [7]. В дальнейшем значительные исследования по изучению гидрологической роли урбанизированных земель на примере Курска и Москвы были выполнены в институте Географии АН СССР М.И. Львовичем и его сотрудниками [8–10], в Государственном гидрологическом институте

Б.С. Устюжаниным [16], а также сотрудниками других организаций. В самое последнее время авторами данной статьи проведено изучение влияния на водный баланс и сток комплекса факторов, связанных с урбанизацией территории, применительно к бассейну р. Москвы и Московской агломерации [6]. Конечно, имеются различия в структуре российских и зарубежных урбанизированных территорий, но, учитывая точность расчетов, они не очень существенны для оценки общей гидрологической роли городов и других урбанизированных площадей. К тому же в расчеты введены поправки на вероятные отклонения от средних показателей. Разработанные методические подходы и полученные количественные закономерности представляется целесообразным применить к расчету влияния урбанизации территории на сток других европейских речных бассейнов, в первую очередь тех, которые близки по коэффициенту стока к бассейну р. Москвы и в пределах которых расположены крупные городские агломерации.

Для этого выбраны бассейны рр. Шпрее, Темзы, Сены, влияние урбанизации на сток которых сравнивается с аналогичным влиянием на сток р. Москвы. При этом отдельно рассмотрено влияние на сток крупных столичных городов (соответственно Берлина, Лондона, Парижа, Москвы) и нестоличных урбанизированных территорий. Кроме того выполнена ориентировочная оценка общего влияния урбанизированных территорий на годовой сток Зарубежной Европы.

Из различных аспектов урбанизации рассмотрим лишь изменения годового стока в результате увеличения площади указанных выше столиц и урбанизированных территорий в соответствующих речных бассейнах. При этом в данной работе не учитывается возможное влияние городов на количество атмосферных осадков, поскольку этот вопрос во многом остается спорным, хотя большинство авторов считает, что над городами выпадает атмосферных осадков больше, чем над окружающей территорией.

*Выделены следующие периоды рассмотрения:* период исчисления нормы стока, примерно соответствующий тому, который был принят К.П. Воскресенским [4] для территории СССР, т.е. с конца XIX в. до начала 1960-х годов, и современный период (начало XXI в.). Сделано допущение, что средние многолетние климатические условия при этом не менялись. Это, конечно, не совсем так, учитывая происходящие в самые последние годы изменения климата, но учет климато-обусловленных гидрологических изменений на урбанизированных площадях является задачей дальнейших исследований.

В основу расчетов положены, как указано выше, разработки авторов, выполненных по тер-

ритории города Москвы и бассейну одноименной реки. Учитывая различия в природных и хозяйственных условиях рассматриваемых городов и рек, разные оценки площадей урбанизированных земель и водонепроницаемых участков, отсутствие экспериментальных исследований влияния урбанизации на сток на зарубежных территориях, применен вариантный расчет изменения стока.

## ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Использованы данные по площади урбанизированных территорий, включая площади водонепроницаемых участков, агрегированные из различных статистических справочников, в том числе Института политики землепользования Линкольна [20], масштабного проекта OpenStreetMap [19] (картографические данные), снимков Landsat и ряда других [3, 18]. Для периода исчисления нормы стока выполнены ориентировочные оценки, опирающиеся на разрозненные сведения, содержащиеся в разных источниках.

В наших расчетах учитывалась площадь Москвы в размере 1081 км<sup>2</sup>, что примерно в 2.5 раза меньше современной, так как увеличение площади в 2012 г. произошло в основном за счет естественных и сельскохозяйственных угодий, которые по-прежнему нельзя считать урбанизированными. В табл. 1 приведены сведения об общей площади урбанизированных земель и доле водонепроницаемых территорий в Берлине, Лондоне, Москве, Париже.

Как видно, по сравнению с периодом исчисления нормы стока наиболее сильно выросла площадь Парижа (в 5.2 раза), а меньше всего Берлина (1.9 раза). Правда, площадь современной Москвы (2511 км<sup>2</sup>) в 6 с лишним раз больше, чем в период исчисления нормы стока, но, как уже отмечалось, основное увеличение произошло в самые последние годы и не за счет урбанизированных ландшафтов. Площадь водонепроницаемых территорий больше всего (почти в 3 раза) выросла в Москве. В других городах этот рост был значительно ниже. Общая площадь урбанизированных площадей рассматриваемых бассейнов представлена в табл. 2. При этом, для периода исчисления нормы стока, из-за отсутствия точных статистических данных, рассмотрены варианты их возможной площади в прошлом. Подробнее о них будет сказано ниже, как и об использовании данных по численности населения [2, 13, 17], привлекаемых для оценки площади урбанизированных земель.

Основные гидрографические и водно-балансовые данные рассматриваемых речных бассейнов представлены в табл. 3. Обращаем внимание

**Таблица 1.** Изменение площади столиц\*

Период	Берлин	Лондон	Москва	Париж
Период исчисления нормы стока	478 (31)	598 (25)	399 (18)	347 (18)
Начало XXI в.	892 (53)	2303 (38)	1081 (50)	1796 (36)

\* км<sup>2</sup>, в скобках – % водонепроницаемых участков.

**Таблица 2.** Общая площадь урбанизированных площадей в речных бассейнах

Речной бассейн	Доля общей современной площади урбанизированных территорий, %	Доля современной площади столичных городов, %	Доля современной площади нестоличных урбанизированных территорий, %	Доля площади нестоличных урбанизированных территорий в период исчисления нормы стока, %		Доля увеличения площади нестоличных урбанизированных территорий по сравнению с периодом исчисления нормы стока, %	
				При темпах развития, равных столичным (вариант А)	При темпах развития, в два раза меньше столичных (вариант Б)	Вариант А	Вариант Б
Шпрее	25	9	16	8.5	16	7.5	0
Темзы	35	18	17	4.3	8.6	12.7	8.4
Москвы	20*	6*	14*	5	10.0	9	4
Сены	20	2	18	3.5	7.0	14.5	11

\* площадь Москвы в границах до 2012 г.

**Таблица 3.** Основные сведения о рассматриваемых речных бассейнах\*

Речной бассейн	Площадь речного бассейна, км <sup>2</sup>	Длина реки, км	Осадки, мм	Сток, мм	Испарение, мм	Коэф. стока
Шпрее	10 105	398	509	112	397	0.22
Темзы	12 900	346	690	160	530	0.23
Москвы	17 600	473	707	180	527	0.25
Сены	78 650	780	890	212	678	0.24

\*Водный баланс р. Шпрее определен по картам атласа Мирового водного баланса [1, 11]; р. Москвы – рассчитан авторами [6], рр. Сены и Темзы – дан соответственно по [12, 14].

на близость коэффициентов стока во всех речных бассейнах, хотя имеются существенные различия в годовых величинах осадков, стока, испарения и их сезонного распределения. Если у Шпрее и особенно у Москвы основным источником питания являются талые снеговые воды, то у Темзы и Сены преобладает дождевое питание. Но именно на дождевом стоке особенно сказывается влияние урбанизированных территорий.

#### ОБЩИЙ АЛГОРИТМ РАСЧЕТОВ

Общий алгоритм расчетов для рассматриваемых столичных городов и речных бассейнов выглядит следующим образом:

1) на основе имеющейся информации определяются основные гидрологические характеристики для территорий, занимаемых городами, а также для речных бассейнов, в пределах которых они находятся. За исходный условно-

естественный сток принимается зональный сток за период исчисления его нормы;

2) определяются площади урбанизированных территорий в современный период и за период исчисления нормы стока. При этом в их составе выделяются водонепроницаемые участки. Они находятся весьма ориентировочно, особенно для нестоличных территорий. В первую очередь это касается показателей за период исчисления нормы стока, поэтому, как указано выше, применен альтернативный метод расчета урбанизированных площадей. В одном из них принято, что площадь нестоличных урбанизированных территорий нарастала с той же скоростью, что и столичных. В другом варианте темпы роста приняты в 2 раза меньшими;

3) на основании соотношения коэффициентов стока с урбанизированных и неурбанизированных площадей, полученных для территории г. Москвы и бассейна р. Москвы, а также данных по изменению площадей урбанизированных земель в других городах и речных бассейнах находятся изменения стока за рассматриваемые периоды. Вначале рассчитывается влияние на сток столичных городов, а затем прочих урбанизированных территорий:

а) в отношении столичных городов применены два варианта расчетов. Первый исходит из полученного по г. Москве и бассейну р. Москвы соотношения – 1% урбанизированной территории на современном этапе увеличивает годовой речной сток в среднем также на 1% [6], а в более ранние периоды – на 0.8%. Второй вариант расчета опирается на данные по величине водонепроницаемых площадей и коэффициента стока с них, средние для периодов половодья и теплого сезона года, рекомендуемых различными нормативными документами [15]. Первый вариант в применении к городам, в которых площади водонепроницаемых участков меньше, чем в Москве, по-видимому, преувеличи-

вает влияние урбанизированных площадей на сток. Второй вариант, скорее всего, преуменьшает это влияние, поскольку не учитывает, что и на других участках города, помимо водонепроницаемых, сток выше, чем на естественных и сельскохозяйственных угодьях. Хотя, возможно, соотношение коэффициентов стока с водонепроницаемых площадей и зонального в отношении полного речного стока преувеличено. Поэтому рассчитываются и средние значения из этих двух вариантов. Так как значения стока на картах районов расположения городских агломераций, составленных за период исчисления нормы стока, уже учитывают влияние урбанизации за этот период, современные изменения стока находятся по разнице его изменений за эти два периода;

б) в отношении прочих (нестоличных) урбанизированных территорий рассмотрен и вариант меньшего увеличения их влияния на сток – 0.5% при 1% увеличении урбанизированных площадей. Таким образом, для нестоличных урбанизированных территорий приняты 4 варианта расчета: два, учитывающих увеличение стока на 1 и 0.5% при росте площади на 1%, и два, учитывающих разные варианты темпов роста урбанизированных территорий. Находится среднее из этих вариантов;

4) зная объем измененного стока на территории столичных городов и в пределах соответствующих речных бассейнов, определяется их влияние на сток этих бассейнов, в том числе общее для столичных и нестоличных урбанизированных площадей. Для расчетов изменений стока рек зарубежной Европы и России принят упрощенный метод расчета, суть которого в том, что площади урбанизированных территорий зарубежной Европы за период исчисления нормы стока определялись по связи современной их площади с современной численностью населения. Эта связь представлена на рис. 1.

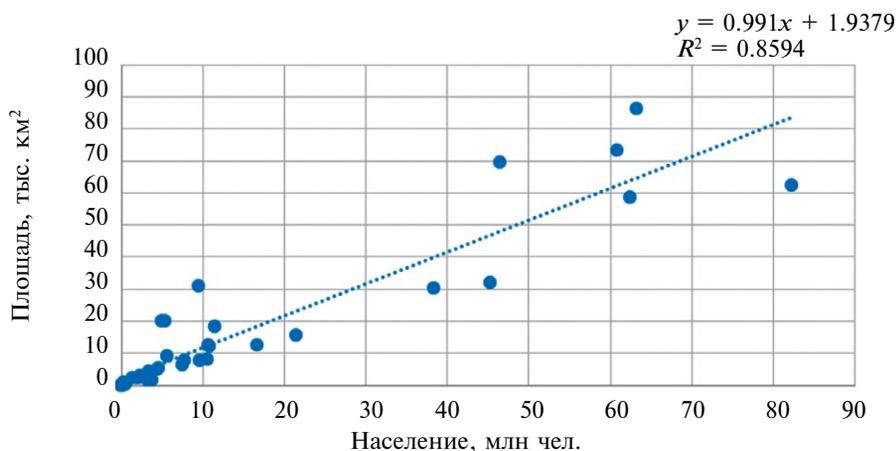


Рис. 1. Связь численности населения и площади урбанизированных территорий для стран Европы.

Поскольку большая часть населения Европы и РФ сосредоточена в наиболее обжитых районах, то и влияние урбанизированных ландшафтов в основном сказывается на стоке, формирующемся в этих районах. Поэтому на основании анализа карт стока [1, 11] из общего стока вычленен сток наиболее обжитых районов. Приводится два варианта расчета – максимального и минимального влияния урбанизированных территорий.

#### ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТОВ БЕРЛИНА, ЛОНДОНА, МОСКВЫ И ПАРИЖА НА ГОДОВОЙ СТОК рр. ШПРЕЕ, ТЕМЗЫ, МОСКВЫ И СЕНЫ

Объем условно-естественного стока на территории столиц, находимый умножением его слоя (см. табл. 3) на их современную площадь (см. табл. 1), дает следующие величины (в млн м<sup>3</sup>): Берлин – 100, Лондон – 369, Москва – 195, Париж – 371. По первому варианту расчета (1% роста урбанизированных

площадей приводит к такому же росту стока) при 100% урбанизации получаем аналогичную прибавку в увеличении стока. Во втором варианте расчета, ориентированном на учет водонепроницаемых территорий, находим следующее увеличение стока – табл. 4. В табл. 5 представлены результаты осредненного расчета по двум вариантам.

Наиболее близкие значения увеличения стока по обоим вариантам расчета получены для Берлина и Москвы (по Москве – 100% совпадение), что объясняется близкой величиной доли водонепроницаемых территорий (половина всех урбанизированных площадей) и относительно близкими природными условиями. Для Лондона и Парижа, доля водонепроницаемых площадей в которых значительно ниже, различия довольно существенны (соответственно в 1.5 и 1.7 раза).

Аналогичные расчеты для периода исчисления нормы стока дали следующие результаты. По первому варианту расчета увеличение стока по сравнению с условно-естественными усло-

**Таблица 4.** Современное увеличение стока в результате роста водонепроницаемых площадей по сравнению с естественными условиями его формирования на территории города (2-й вариант расчета)

Город	Площадь в/нп* территорий, км <sup>2</sup>	Объем условно- естественного стока с в/нп территорий, млн м <sup>3</sup>	Коэф. стока с в/нп территорий	Увеличение коэф. стока на в/нп территориях, раз	Объем стока с в/нп территорий, млн м <sup>3</sup>	Увеличение стока, млн м <sup>3</sup>
Берлин	473	53	0.7	3.2	169	116
Лондон	875	140	0.65	2.8	392	252
Москва	541	97.4	0.75	3.0	292	195
Париж	647	130	0.6	2.7	351	221

\*в/нп – водонепроницаемые территории.

**Таблица 5.** Современное увеличение стока под влиянием столичных городов на их территории и в речном бассейне по сравнению с естественными условиями его формирования (среднее по двум вариантам расчета)\*

Город	Среднее увеличение, млн м <sup>3</sup>	Среднее увеличение в % к условно- естественному стоку с территории города*	Речной бассейн	Объем условно- естественного речного стока, млн м <sup>3</sup>	Увеличение речного стока, %
Берлин	108	108	Шпрее	1132	9.5
Лондон	311	84	Темза	2064	15.1
Москва	195	100	Москва	3168	6.2
Париж	296	80	Сена	15 809	1.9

\*Площадь городов в современных границах, Москва в границах до 2012 г.

виями его формирования составило (в млн м<sup>3</sup>): для Берлина – 43, Лондона – 77, Москвы – 57, Парижа – 59. В табл. 6 и 7 представлены соответствующие варианты расчета для водонепроницаемых территорий и среднее для двух вариантов. Подчеркнем, что для этого периода приняты более низкие значения (0.8%) увеличения стока при росте урбанизированных площадей на 1% и несколько пониженные коэффициенты стока с водонепроницаемых площадей, что объясняется менее эффективной системой отвода воды с этих территорий. Значительно больше различия между первым и вторым вариантами расчета из-за гораздо меньшей точности определения площадей за этот период (особенно водонепроницаемых) по сравнению с современным периодом. Но в любом варианте налицо гораздо

меньшее увеличение стока по сравнению с современным периодом.

Вычитанием из величин современного увеличения стока их аналогичных значений за период исчисления нормы (см. табл. 5 и 7) находим осредненное современное его изменение под влиянием столичных городов. Как видно из табл. 8, наибольшее влияние на сток основной реки, на которой располагается город, оказал Лондон в связи со своими самыми крупными размерами и почти четырехкратным увеличением площади по сравнению с периодом исчисления нормы стока, а также из-за сравнительно скромных размеров стока р. Темзы. Наименьшее влияние на речной сток оказал Париж из-за малой (всего 2%) его доли в общей площади водосбора и большого объема стока Сены.

**Таблица 6.** Увеличение стока в результате роста столичных городов в период исчисления нормы стока по сравнению с естественными условиями его формирования (2-й вариант расчета)

Город	Площадь в/нп территорий км <sup>2</sup>	Объем условно-естественного стока с в/нп территорий, млн м <sup>3</sup>	Коэф. стока с в/нп территорий	Увеличение коэф. стока на в/нп территориях, раз	Объем стока с в/нп территорий, млн м <sup>3</sup>	Увеличение стока, млн м <sup>3</sup>
Берлин	148	17	0.6	2.7	46	29
Лондон	150	24	0.55	2.4	56	32
Москва	72	13	0.65	2.6	34	21
Париж	63	13	0.5	2	26	13

**Таблица 7.** Увеличение стока в результате роста столичных городов за период исчисления нормы стока по сравнению с естественными условиями его формирования (среднее по двум вариантам расчета)

Город	Среднее увеличение, млн м <sup>3</sup>	Среднее увеличение в % к условно-естественному стоку с территории города	Речной бассейн	Увеличение речного стока, %
Берлин	36	67	Шпрее	3.2
Лондон	55	57	Темза	2.7
Москва	39	54	Москва	1.2
Париж	33	50	Сена	0.2

**Таблица 8.** Современное увеличение стока в результате роста столичных городов по сравнению с периодом исчисления его нормы

Город	Среднее увеличение, млн м <sup>3</sup>	% к условно-естественному стоку с территории города	% к речному стоку
Берлин	72	41	6.3
Лондон	256	27	12.4
Москва	156	46	5.0
Париж	260	30	1.7

Необходимо отметить, что для всех городов осредненное по двум вариантам современное процентное увеличение стока соответствует соотношению – 1% роста урбанизированных площадей и такое же увеличение стока. Так, для Берлина рост процента урбанизированных площадей ( $F_y$ ) с 4 до 9%, т.е. на 5%, привел к увеличению стока Шпрее на 6.3%, для Лондона – рост  $F_y$  на 14%, увеличивает сток Темзы на 12.6%, для Москвы увеличение  $F_y$  на 5%, дает прирост стока ровно на такую же величину. Наконец, для Сены увеличение площади урбанизированных площадей с 0.5 до 2.4% (1.9%) приводит к росту ее стока на 1.7% (см. табл. 8).

#### СОВРЕМЕННОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ГОДОВОГО РЕЧНОГО СТОКА ПОД ВЛИЯНИЕМ НЕСТОЛИЧНЫХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ПЛОЩАДЕЙ И ВСЕХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В БАСЕЙНАХ РР. ШПРЕЕ, ТЕМЗЫ, МОСКВЫ, СЕНЫ

Как уже отмечено, расчет проводился для двух вариантов темпов развития урбанизированных площадей (см. табл. 2 – варианты А и Б) и двух вариантов увеличения стока – 1 и 0.5% на 1% роста урбанизированных территорий. Результаты представлены в табл. 9, в которой дана оценка и общего влияния на сток всех урбанизированных площадей в бассейнах рассматриваемых рек.

Как видно, наибольший вклад нестоличных урбанизированных территорий в общее увеличение стока вносит бассейн Сены, что объясняется (см. табл. 2) в 9 раз большей их площадью по сравнению с площадью Парижа, наименьший вклад – в бассейне Темзы, где это соотношение близко к единице. Для Темзы получается

и наибольшее общее увеличение стока – более 20%, для остальных бассейнов оно почти одинаково – 9–11%.

#### ВЛИЯНИЕ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТОВ НА СТОК РЕК ЗАРУБЕЖНОЙ ЕВРОПЫ И РОССИИ

Современное увеличение годового речного стока зарубежной Европы и РФ под влиянием урбанизированных территорий представлено в табл. 10.

Обратим внимание, что доля урбанизированных территорий от общей площади в РФ примерно в 10 раз ниже, чем в зарубежной Европе, а от площади обжитой части – в 3 с лишним раза ниже. Современное увеличение общего годового стока по сравнению с периодом исчисления его нормы составляет для зарубежной Европы 2.2–4.5%, а для РФ – 0.2–0.3%, а по отношению к стоку с наиболее обжитой части – соответственно 3.5–6.9% и 1–2%. В  $\text{км}^3$  это выражается в следующих величинах – 44.9–89.8 (зарубежная Европа) и 7.2–14.3 (РФ). Учитывая, что население Европейской части страны составляет около 80% от населения страны, можно полагать, что рост урбанизированных территорий здесь приводит к увеличению стока на 5.8 и 11.6  $\text{км}^3$  в год. Для всей же Европы, включая ЕТР, сток возрастает на 50–100  $\text{км}^3$  в год или почти на 2–4%. В процентном отношении это сравнительно небольшое влияние, хотя в объемном выражении приведенные величины в среднем почти соответствуют стоку такой реки, как Нева. Вместе с тем, как было показано выше, для целого ряда крупных речных бассейнов доля увеличения стока гораздо выше.

**Таблица 9.** Современное увеличение годового стока под влиянием нестоличных урбанизированных площадей и всей урбанизированной территории по сравнению с периодом исчисления его нормы, %

Речной бассейн	Изменение стока при темпах роста урбанизированных территорий, равных столичным, в расчете на 1% прироста площади		Изменение стока при темпах роста урбанизированных площадей в 2 раза ниже столичных, при соотношении:		Среднее изменение по четырем вариантам расчета	Общее изменение стока по сравнению с периодом исчисления его нормы
	На 1%	На 0.5%	1% увеличения стока на 1% роста урбанизированных территорий	0.5% увеличения стока на 1% роста урбанизированных территорий		
Шпрее	7.5	3.8	0	0	2.8	9.1
Темзы	12.7	6.3	8.4	4.2	7.9	20.3
Москвы	9.0	4.5	4.0	2.0	4.9	9.9
Сены	14.5	7.2	11.0	5.5	9.6	11.3

**Таблица 10.** Среднегодовой сток с территории зарубежной Европы и РФ

Показатель		Зарубежная Европа	РФ
Общая площадь, млн км <sup>2</sup>		6.46	17.1
Площадь наиболее обжитой части, млн км <sup>2</sup>		5.17	4.3
Доля наиболее обжитой части от общей, %		80	25
Современная площадь урбанизированных территорий, млн км <sup>2</sup>		0.75	0.19
Площадь урбанизированных территорий за период исчисления нормы стока, млн км <sup>2</sup>		0.39	0.1
Увеличение площади урбанизированных территорий, млн км <sup>2</sup>		0.36	0.09
Доля современной площади урбанизированных территорий, % от общей площади		11.6	1.1
Площадь урбанизированных территорий за период исчисления нормы стока, % от общей площади		6	0.6
Доля современной площади урбанизированных территорий, % от наиболее обжитой части		14.49	4.37
Доля площади урбанизированных территорий за период исчисления нормы стока, % от наиболее обжитой части		7.5	2.3
Доля увеличения площади урбанизированных территорий, %		6.9	2
Общий средний многолетний сток	мм	311	241
	км <sup>3</sup>	2012	4118
Средний многолетний сток с наиболее обжитой части	мм	250	163
	км <sup>3</sup>	1293	701
Доля стока с наиболее обжитой части	%	64.3	17
Современное изменение стока (максимальный вариант), км <sup>3</sup>		89.8	14.3
Доля стока с наиболее обжитой части (максимальный вариант), %		6.9	2
Доля от общего стока (максимальный вариант), %		4.5	0.3
Современное изменение стока (минимальный вариант), км <sup>3</sup>		44.9	7.2
Доля стока с наиболее обжитой части (минимальный вариант)		3.5	1
Доля от общего стока (минимальный вариант)		2.2	0.2

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные выше расчеты носят ориентировочный характер. Полученные величины влияния урбанизированных площадей на сток нуждаются в уточнении, особенно в отношении площади нестоличных урбанизированных территорий в прошлом и стока с них. Вместе с тем, полученные величины изменения стока скорее преуменьшают гидрологическую роль урбанизированных территорий, поскольку, как уже отмечалось, в наших расчетах не учитывалось увеличение осадков над городами, приняты скорее завышенные значения стока с урбанизированных территорий в прошлом по сравнению с современной ситуацией. Но даже с учетом принятых допущений, полученные результаты сви-

детельствуют о том, что урбанизация становится одним из важных факторов роста речного стока, что 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 городских территорий).

Важно подчеркнуть, что урбанизация территории – не единственный антропогенный фактор изменения стока. И при общей оценке изменения современного стока рассматриваемых рек следует иметь в виду и роль других ландшафтных изменений (особенно сельскохозяйственных и лесохозяйственных ландшафтов), влияние гидротехнических и водохозяйственных мероприятий, не говоря уже о климатических

воздействиях. Гидрологическая роль всех этих факторов во многих случаях существенно превышает гидрологическую роль урбанизированных ландшафтов.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РНФ № 17-17-01-262 и РФФИ № 18-05-00479, а также в рамках Госзадания №0148-2019-0007.

#### FUNDING

This study was supported by the Russian Science Foundation, project no. 17-17-01-262, by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 18-05-00479, and within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, no. 0148-2019-0007.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас мирового водного баланса Земли. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 638 с.
2. Брук. С.И. Население мира. Этно-демографический справочник. Изд-во: Наука, 1986. 828 с.
3. Военно-статистическое обозрение Российской империи. Т. 6. Ч. 1. Московская губерния. СПб.: Изд-во департамента генерального штаба, 1853. 306 с.
4. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеоздат, 1962. 548 с.
5. Давыдов Л.К. Гидрография СССР. Л.: ЛГУ, 1955. 184 с.
6. Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Трансформация стока под влиянием ландшафтных изменений в бассейне реки Москвы и на территории города Москвы // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 2. С. 159–169.
7. Куприянов В.В. Гидрологические аспекты урбанизации Л.: Гидрометеоздат, 1977. 184 с.
8. Львович М.И. Вода и жизнь М.: Мысль, 1986. 256 с.
9. Львович М.И., Черногаева Г.М. Изменение водного баланса территории под влиянием урбанизации // Проблемы гидрологии. М.: Известия АН СССР, 1978. С. 43–52.
10. Львович М.И., Чернышев Е.П. Закономерности водного баланса и вещественного обмена в условиях города // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1983. № 3. С. 23–29.
11. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. М.: Гидрометеоздат, 1974. 638 с.
12. Михайлова М.В. Сена / Энциклопедия “Реки и озера мира”. М.: Издательство “Энциклопедия”, 2012. С. 621–623.
13. Народонаселение стран мира. Справочник. М.: Изд-во Статистика, 1974. 480 с.
14. Повалишников Е.С. Темза / Энциклопедия “Реки и озера мира”. М.: Издательство “Энциклопедия”, 2012. С. 669–671.
15. СНиП 2.04.03-85 “Канализация. Наружные сети и сооружения”. Минстрой России. М.: ГУП ЦПП, 1996.
16. Устюжанин Б.С. Реакция речного стока на урбанизацию водосбора / Расчеты и прогнозы гидрологических характеристик. Сб. науч. тр. Вып. 103. Л.: ЛГМИ, 1989. С. 73–81.
17. Федеральная служба государственной статистики. Регионы России. Социально-экономические показатели за 1995–2010 гг. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b10\\_14p/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b10_14p/Main.htm).
18. Angel Sh., Parent J., Civco D.L., Blei A.M. Atlas of Urban Expansion. Massachusetts: Cambridge, 2012. 397 p.
19. OpenStreetMap. URL: <http://download.geofabrik.de/>. (Дата обращения: 18.04.2019).
20. Lincoln Institute of Land Policy. URL: <http://www.lincolnst.edu/>. (Дата обращения: 18.04.2019).

#### REFERENCES

1. *Atlas mirovogo vodnogo balansa Zemli* [Atlas of the World Water Balance of the Earth]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1974. 638 p.
2. Bruk. S.I. *Naselenie mira. Etno-demograficheskii spravochnik* [The World Population. Ethno-Demographic Handbook]. Moscow: Nauka Publ., 1986. 828 p.
3. *Voenno-statisticheskoe obozrenie Rossiiskoi imperii* [Military Statistical Review of the Russian Empire]. St.-Petersburg: Generalyi Shtab Publ., 1853, vol. 6, part 1. 306 p.
4. Voskresenskii K.P. *Norma i izmenchivost' godovogo stoka rek Sovetskogo Soyuza* [Normal Annual Runoff and Flow Variability of the Soviet Union Rivers]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1962. 548 p.
5. Davydov L.K. *Gidrografiya SSSR* [Hydrography of the USSR]. Leningrad: Leningradskii Gos. Univ., 1955. 184 p.
6. Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. Runoff transformation under the effect of landscape changes in the Moskva R. Basin and in the territory of Moscow City. *Water Resources*, 2015, vol. 42, no. 2, pp. 159–169.
7. Kupriyanov V.V. *Gidrologicheskie aspekty urbanizatsii* [Hydrological Aspects of Urbanization]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1977. 184 p.
8. L'vovich M.I. *Voda i zhizn'* [Water and Life]. Moscow: Mysl' Publ., 1986. 256 p.
9. L'vovich M. I., Chernogaeva G.M. Changes in water balance of a territory under the effect of urbanization. In *Problemy gidrologii* [Problems of Hydrology]. Moscow, 1978, pp. 43–52. (In Russ.).
10. L'vovich, M.I., Chernyshev, E.P. Regularities in water balance and matter exchange under urban conditions. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1983, no. 3, pp. 23–29. (In Russ.).
11. *Mirovoi vodnyi balans i vodnye resursy Zemli* [World Water Balance and Water Resources of the Earth]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1974. 638 p.
12. Mikhailova M.V. Seine. In *Reki i ozera mira* [Rivers and Lakes of the World]. Moscow: Entsiklopediya Publ., 2012, pp. 621–623. (In Russ.).
13. *Narodonaselenie stran mira. Spravochnik* [Population of the World. Handbook]. Moscow: Statistika Publ., 1974. 480 p.

14. Povalishnikova E.S. Thames. In *Reki i ozera mira* [Rivers and Lakes of the World]. Moscow: Entsiklopediya Publ., 2012, pp. 669–671. (In Russ.).
15. Construction Norms and Rules: SNiP 2.04.03-85. Sewage. External Networks and Facilities. Moscow: Minstroï Rossii, 1996. (In Russ.).
16. Ustyuzhanin B.S. Reaction of river flow to the urbanization of the catchment area. In *Rascheti i prognozy gidrologicheskikh kharakteristik* [Calculations and Forecasts of Hydrological Characteristics]. Leningrad: LGMI, 1989, vol. 103, pp. 73–81. (In Russ.).
17. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli za 1995–2010 gg.* [Regions of Russia. Socio-economic Indicators for the Period 1995–2010]. Available at: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b10\\_14p/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b10_14p/Main.htm) (accessed 18.04.2019).
18. Angel S., Blei A.M., Civco D.L., Parent J. *Atlas of Urban Expansion*. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 2012. 397 p.
19. OpenStreetMap Data Extracts. Available at: <http://download.geofabrik.de/> (accessed 18.04.2019).
20. Lincoln Institute of Land Policy. Available at: <http://www.lincolninst.edu/> (accessed 18.04.2019).

## Impact of Urbanized Landscapes on the River Flow in Europe

N. I. Koronkevich\* and K. S. Melnik

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

\*e-mail: [hydro-igras@yandex.ru](mailto:hydro-igras@yandex.ru)

Received July 03, 2018; revised December 04, 2018; accepted January 24, 2019

Global urban landscapes were growing rapidly during last decades. The impact of this growth on annual river runoff of foreign European and Russian river basins was shown in this article. Calculations for Moscow river basin were taken as a basis for computations. The performed calculations show, that 1% of urbanization area increase also enhances total river runoff at 1%. At the same time 1% growth of watertight territories (included in urbanized landscapes) leads to an increase in runoff by 2–3%. The growth of urbanized areas led to a smaller increase in runoff (2–3 times) in the past (in comparison with current period) due to a less established system of diversion from urbanized landscapes. Calculations were made for Spree, Thames, Seine river basins in comparison Moscow River basin. Impact of capitals landscapes (Berlin, London, Paris, and Moscow) on river runoff was estimated initially, and then the influence of other urbanized areas located in river basins. As a result, the general influence of all urbanized territories was defined. According to results of conducted calculations, modern urbanized areas led to an increase of annual river runoff by more than 9% in Spree river basin, more than 20% of the Thames, over 11% of the Seine and 10% in the basin of Moscow River in comparison with changes during the period of norm calculation (from the end of 19th century till the beginning of the 1960s of the 20th century). According to the results of conducted calculations, modern total annual runoff increase is 2.2–4.5% for Europe and 0.2–0.3% for the Russian Federation in comparison with changes during the period of norm calculation, and in relation to the runoff from the most populated their parts is 3.5–6.9% and 1–2%, respectively. In addition, it can be expressed in km<sup>3</sup> with following values: 44.9–89.8 (for foreign Europe) and 7.2–14.3 (for the Russian Federation). For the whole Europe (including European territory of Russia), the runoff increases by 50–100 km<sup>3</sup> (or by 2–4%) per year. Actually, this is not so much in percentage terms, though in terms of volume – these values are close to annual runoff of such river as Neva.

**Keywords:** urbanized landscapes, annual river runoff, Moscow, London, Paris, Berlin, Spree, Thames, Moscow, Seine river basins.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019378-87>