

СТОК С ВОДОСБОРА КАК ИСТОЧНИК ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК

Коронкевич Н. И., Долгов С. В.

THE RUNOFF FROM A WATERSHED AS A SOURCE OF DIFFUSE RIVER POLLUTION

Koronkevich N. I., Dolgov S. V.

Аннотация

Рассмотрено формирование на водосборах рек и водоемов их диффузного загрязнения, в основном склоновым поверхностным стоком. Показано, что по сравнению с периодом исчисления нормы речного стока по К. П. Воскресенскому (1962) поверхностный склоновый сток за период половодья снизился в настоящее время от 2 раз в северной лесостепи европейской части РФ до более 10 раз в южной части степной зоны, главным образом вследствие изменения климатических условий. Если бы не сокращение площади зяблевой (осенней) пахоты, характеризующейся пониженным стоком, это уменьшение было бы еще больше. Вместе с тем увеличились поверхностный сток в теплый период года и подземный сток, как в этот период, так и во время половодья из-за улучшения условий инфильтрации из-за меньшего промерзания почв. Соответственно возросла доля теплого периода года в диффузном загрязнении рек и водоемов в значительной мере за счет поступления загрязненных склоновых подземных вод.

Ключевые слова: диффузное загрязнение, водосбор, склоны, гидрографическая сеть, поверхностный и подземный сток

Введение

Одна из главных причин загрязнения рек и водоемов — так называемое диффузное (распределенное, площадное) загрязнение, формирующееся на водосборной территории, особенно значительное в сельскохозяйственных районах. Компонентами этого загрязнения чаще всего являются вымываемые с полей со стоком удобрения, ядохимикаты и другие продукты эрозии. Величина диффузного загрязнения во многом зависит от величины стока с водосбора, особенно поверхностного со склонов. Сток нередко подразделяется на склоновый (на большей части водосбора, включающей основную массу пахотных угодий) и сток с площади гидрографической сети (тальвега, поймы и прилегающей к ним территории долин, балок, оврагов, ложбин до их бровок). Особый интерес представляет склоновый сток, в наиболь-

Abstract

The formation of diffuse pollution in the catchment areas of rivers and water bodies mainly by surface overland flow is considered. It is shown that in comparison with the time of normal annual runoff calculations by K. P. Voskresensky (1962) the surface overland flow during the flood period decreased currently from 2 times in the northern forest-steppe of the Russian European part to more than 10 times in the southern part of the steppe zone, mainly due to changes in climatic conditions. If not for the reduction in the area of autumn ploughing, characterized by low surface overland flow, this reduction would be even greater. In addition to that the ground overland flow increased during the warm period of the year. Accordingly, the share of warm season in diffuse pollution of rivers and reservoirs increased largely due to contaminated slope groundwater inflow.

Keywords: diffuse pollution, catchment area, slope, drainage network, surface and ground overland flow

шей степени подвергающийся сельскохозяйственному воздействию. Поверхностному стоку с водосборов посвящены работы М. И. Львовича [12], А. М. Грина [6], В. Е. Водогрецкого [4], Н. И. Коронкевича [11], А. Т. Барабанова, В. И. Панова [1–2], А. И. Петелько, В. И. [14] и др. Диффузное загрязнение рассматривается в работах Г. А. Чуяна и др. [18], С. А. Кондратьева [10], Е. П. Чернышева и др., [17], Н. И. Хрисанова, Г. К. Осипова [16], Н. А. Назарова [13], В. Г. Пряжинской [15], Г. С. Шилькрот, С. В. Ясинского [19], В. Е. Закруткина и др. [9], С. В. Долгова [8] и др. Однако большая часть исследований, как склонового стока, так и диффузного загрязнения, выполнена давно и не отражает современного их состояния и носит локальный характер; сток и диффузное загрязнение, как правило, рассматривается изолированно друг от друга.

Цель и методы исследования

В данной статье авторы задались целью рассмотреть динамику склонового стока за последние десятилетия и оценить его современное воздействие на экологическое состояние в южной части Восточно-Европейской равнины. Наиболее надежно величину поверхностного склонового стока можно определить по данным наблюдений на стоковых площадках воднобалансовых (стоковых) станций. Стоковые площадки имеют длину несколько десятков метров, ширину 20–30 м, ограждены от других участков склона земляными валиками, оборудованы водоприемным устройством. Стоковые площадки обычно заняты наиболее характерными для данной местности угодьями. Для периода весеннего половодья (основной гидрологической фазы на территории России), особый интерес представляет сравнение поверхностного склонового стока с полей, занятых зяблевой (осенней) пахотой и прочими полями, распаханемыми весной, после окончания весеннего половодья. Поля, распаханые осенью, по сравнению с нераспахаными (с уплотненной почвой), к весне обладают повышенными инфильтрационными свойствами и пониженным поверхностным стоком, способствуя уменьшению и речного стока.

Если до 1930-х гг. зяблевая пахота под яровые культуры почти не применялась в нашей стране, то с 1930-х гг. с появлением большого количества тракторов и соответствующих возможностей масштабной обработки почв ее площадь стремительно увеличивалась. В 1960–80-е гг. она составляла до 40–50 % общей площади водосборов в лесостепной и степной зонах, что не могло не сказаться на величине речного стока даже крупных рек. Однако с 1990-х гг. площади, занятые зяблевой пахотой, стали сокращаться в связи с кризисными явлениями в сельском хозяйстве и заменой в значительной мере яровых культур озимыми. Тем не менее, и сейчас под зяблевую пахоту отводятся большие площади.

Представляется целесообразным для определения весеннего склонового стока с основной водосборной территории выделить три вида угодий: зяблевая пахота, поля, нераспаханые с осени (с уплотненной почвой) и лес. Поскольку стоковые площадки на разных воднобалансовых станциях отличаются по размерам, уклонам, уровню агротехники,

периоду наблюдений и ряду других характеристик был применен метод зонально-межзонального их обобщения путем «привязки» к величине среднего многолетнего речного стока за период половодья (по существу зонального) в районе расположения воднобалансовых станций [11].

Основное внимание в составе диффузного загрязнения уделено биогенам. Миграционные возможности биогенов оценивались нами по водным вытяжкам из образцов растений, почв и грунтов зоны аэрации при соотношении их с дистиллированной водой 1:100 и при 30-минутном взбалтывании. Химический анализ водных вытяжек, проб поверхностных и подземных вод выполнен с помощью портативного спектрофотометра DR/2010 фирмы «HACH» (США), иономера и ионоселективных электродов фирмы «Эконикс» (Россия). Использовались также кондуктометр и рН-метр и оксиметр фирмы «HANNA-instruments» (Германия).

В связи с отсутствием режимных наблюдений Росгидромета при экспедиционном обследовании рек особое внимание уделено оценке экологического состояния (по гидрохимическим и гидробиологическим показателям) самых верхних звеньев гидрографической сети ($F = 25–1000 \text{ км}^2$), находящихся в условиях интенсивного, преимущественно сельскохозяйственного воздействия на водосборы малых рек. Экспедиционные полевые работы были выполнены в 1993–2004 гг. в летне-осеннюю межень на водосборах малых рек лесостепной (64) и степной (66) зон в бассейнах Дона и Волги.

Результаты исследования и обсуждение

На основании обобщения данных более 30 этих станций, расположенных в европейской (преимущественно) и азиатской частях СССР, получены величины зонального весеннего поверхностного склонового стока по состоянию до 1980-х гг. с рассматриваемых угодий для двух типов почв — суглинистых и супесчаных (табл. 1). По процентному соотношению этих угодий и типов почв (на европейской территории страны преобладают суглинистые почвы) получены средневзвешенные значения зонального склонового стока с сельскохозяйственных полей (табл. 2). В табл. 1 и 2 значения речного стока половодья 100–120 мм соответствуют южной

Таблица 1

Весенний поверхностный склоновый сток с отдельных угодий в связи с величиной среднего многолетнего стока половодья за период исчисления нормы речного стока по К. П. Воскресенскому (1962)

Средний многолетний сток половодья на реках за период с конца XIX века до начала 1960-х гг., мм	Поверхностный склоновый сток, мм					
	на суглинистых почвах			на супесчаных почвах		
	лес	зябрь	поля, не распаханые с осени	лес	зябрь	поля, не распаханые с осени
120	35	80	92	3	19	37
100	27	63	81	1	17	32
80	18	48	71	0	13	28
60	8	31	61	0	9	23
40	4	18	48	0	6	20
20	0	5	32	0	3	17

Таблица 2

Средневзвешенный поверхностный склоновый сток в связи с величиной среднего многолетнего стока половодья за период исчисления нормы речного стока по К.П. Воскресенскому (1962)

Средний многолетний сток половодья на реках за период с конца 19 века до начала 1960-х гг., мм	За период исчисления нормы стока на с/х угодьях, мм	За период с начала 1960-х гг. до начала 1980-х гг. с пашни, мм	Современный с пашни, мм
120	83	75	н.д.
100	73	58	36
80	62	46	23
60	48	33	15
40	39	21	9
20	25	5	2

части лесной зоны, 60–80 мм — лесостепной, 20–40 мм — степной.

В последующем, вплоть до начала 1980-х гг., площадь зяблевой пахоты нарастала и при практически мало меняющихся климатических условиях средневзвешенный склоновый сток соответственно снижался. По расчетам одного из авторов данной статьи [11] это снижение составило: в зоне дерновоподзолистых и подзолистых почв 10–20 %, в зоне серых лесных почв, оподзоленных и выщелоченных черноземов 20–40 %, в зоне типичных, обыкновенных и южных черноземов 25–60 %, в зоне темно-каштановых почв 65–90 %. В результате к началу 1980-х гг. сток с пашни выразился в среднем в следующих величинах (см. табл. 2). Конечно, представленные в табл. 1 и 2 величины склонового стока сильно варьируют в пределах одной и той же территории в зависимости от указанных выше конструктивных особенностей стоковых площадок и их положения на склонах, характеризующегося уклонами, экспозицией, длиной склонов. Средний уклон стоковых площадок примерно соответствует среднему уклону пахотных земель в пре-

делах Русской равнины — 25–50 промилле или 1,5–3 градуса. На более крутых склонах на суглинках почвы более смыты и сток с них выше. Напротив, на супесях на крутых склонах смытым почвам, сложенным более крупнозернистым материалом, чем не смытые, присущ пониженный сток. Неоднозначного влияния следует ожидать и в отношении экспозиции и длины склонов.

С 1980-х гг. на европейской территории страны отмечается существенное изменение климатических условий, которое сказывается и на величине поверхностного склонового и речного стока. Вследствие наступления более теплых зим, меньшего промерзания почвы поверхностный склоновый сток снегового происхождения снижается, возрастает доля подземного стока, формирующегося зимой и весной.

К сожалению, следует констатировать, что большинство воднобалансовых станций закрылось или на них резко сократился объем работ после распада СССР и появившихся кризисных явлений в экономике и в полевых экспериментальных научных исследованиях. Поэтому в оценке современного склонового стока прихо-

дится ориентироваться лишь на отрывочные сведения немногих сохранившихся к настоящему времени наблюдений на воднобалансовых станциях. К таковым относятся наблюдения на ряде станций ВНИАЛМИ [2, 14]. Они свидетельствуют о существенном уменьшении поверхностного склонового стока с сельскохозяйственных полей после 1980-х гг. Так, на Новосильской воднобалансовой станции сток с зяби в период 1980–2011 гг. снизился по сравнению с предшествующим периодом с 39 до 8 мм, с уплотненной пашни (нераспаханные с осени поля) с 49 до 21 мм, на Поволжской станции на зяби с 12 до 9 мм, на уплотненной пашне с 48 до 42 мм, на Волгоградском стационаре на зяби с 6 до 1 мм, на уплотненной пашне с 23 до 7 мм. При структуре земельных угодий, которая была прежде, климатическое изменение средневзвешенного стока составило от 55 % в районе Новосильской в/б станции до 64 % в районе Поволжской и 80 % в районе Волгоградского стационара. Вместе с тем, уменьшение площади зяблевой пахоты способствовало увеличению средневзвешенного склонового стока от 10 % в районе Новосильской станции до 19–20 % в районах двух остальных станций. Таким образом, общее изменение средневзвешенного стока можно оценить в сторону уменьшения 40–50 % в районе Новосильской и Поволжской станций и примерно в 60 % в районе Волгоградского стационара. На основании этих данных современный средневзвешенный склоновый сток можно оценить следующими величинами (см. табл. 2). Таким образом, налицо общее уменьшение поверхностного склонового стока за период половодья по сравнению с периодом исчисления нормы стока от 2 раз в переходной зоне от южной части лесной к северной части лесостепной, до 3 раз в лесостепи и северной части степной зоны и 4–10 раз на большей части степной зоны. Вначале уменьшение стока было обусловлено увеличением площадей под зябью и осуществлением других агротехнических приемов, а в последнее время главным образом климатическими условиями. Если бы не было изменений в структуре пахотных угодий, уменьшение склонового стока на современном этапе было бы еще больше. Снижение поверхностного склонового стока привело и к уменьшению стока речного половодья, что хорошо показано в работах

«Водные ресурсы России» [3], Р. Г. Джамалова с соавторами [7], хотя это уменьшение речного половодья в процентном отношении меньше склонового по двум основным причинам:

1. Значительная часть поверхностной составляющей речного стока формируется на площади гидрографической сети, включая поймы, склоны долин, балок, оврагов. И эта часть стока половодья сравнительно мало изменилась во времени.

2. Увеличение подземной составляющей речного стока.

Поверхностный сток с гидрографической сети составлял за период исчисления нормы стока от 30–40 % стока речного половодья в лесостепных районах европейской части страны до более 50 % в степной зоне. При этом следует иметь в виду, что часть поверхностного склонового стока (до половины в степной зоне) не доходит до рек и водоемов, задерживаясь в замкнутых отрицательных формах рельефа или на участках с повышенными инфильтрационными свойствами почв, например, в верхних звеньях гидрографической сети или в лесополосах, где из-за больших снегозапасов за счет сносимого ветром снега с полей почва не промерзает или слабо промерзает.

Современное уменьшение склонового стока при сравнительно мало изменившемся стоке с площади гидрографической сети по крайней мере в 1,5–2 раза увеличивает долю последнего в общем речном стоке половодья в лесостепных и степных районах.

Вместе с тем в большинстве районов юга европейской части РФ увеличились подземная составляющая стока и ее доля в суммарном речном стоке [7]. Причем изменился механизм пополнения подземных вод. Если раньше более или менее равномерное промачивание толщи почвогрунтов происходило только в лесной зоне, в лесостепи практически в равной мере этот механизм пополнения подземных вод сочетался с так называемым потускулярным питанием (в отдельных местах, потускулах, по выражению Г. Н. Высоцкого, где складывались благоприятные условия для инфильтрации), а в степной зоне с мощной зоной аэрации пополнение подземных вод происходило преимущественно по потускулам, то на современном этапе из-за улучшения условий инфильтрации резко возросла роль относительно равномерного промачивания зоны аэрации.

Что касается поверхностного склонового стока в теплый период года, то он увеличился в последние годы, особенно на площади занимаемой гидрографической сетью, где складываются благоприятные условия для его формирования, как впрочем и для подземного стока. Об увеличении в целом стока с отдельных угодий в теплый период года, хотя и очень неравномерном по территории, косвенно свидетельствуют данные об осадках за этот период. Так, по метеостанции Серноводск (Самарская область) осадки за 1981–2015 гг. возросли по сравнению с 1966 г. по 1980 г. с 271 до 312 мм (почти на 15 %), в районе Волгограда почти на 2 %, в Каменной степи рост за 1981–2009 гг. составил около 8 % по сравнению с 1955–1980 гг., в Ливнах Орловской области осадки за 1981–2015 гг. возросли на 1 %.

Увеличение поверхностного стока в теплый период года наряду с его уменьшением во время половодья свидетельствует в целом о возросшей роли теплого периода формирования диффузного загрязнения рек и водоемов. Вместе с тем надо иметь в виду, что значительная часть стока со склонов (на большей части водосбора) в теплый период года зачастую не достигает рек и водоемов, расходуясь на инфильтрацию на пути к ним, а главный вклад в формирование летне-осенних речных паводков вносит площадь, занятая гидрографической сетью. И в период половодья не весь поверхностный склоновый сток доходит до рек и водоемов, но в теплый период года величина потерь на порядок выше. Тем не менее, часть поверхностного склонового стока дождевого происхождения доходит до гидрографической сети и поставляется в нее продукты эрозии, а следовательно, и загрязняющие вещества во взвешенном и главным образом в растворенном виде. При этом важно учитывать, что почва в теплый период года более подвержена эрозии, чем в замёрзшем состоянии весной. А более высокая температура способствует более интенсивному переходу веществ в растворенное состояние. В то же время растительный покров в значительной мере предотвращает эрозию. Так, А. Т. Барабанов, М. М. Качкарь [1] отмечают, что смыв почвы дождевыми водами в 1999–2001 гг. в Нижнем Поволжье практически отсутствовал на посевах озимых с хорошим проективным покрытием, а также на стерне и залежи. Однако

смыв в 1991 г. превысил 60 м³/га на полях под паром с уклоном 3–4 градуса.

Вид угодий играет важную роль и в период половодья. При этом внедрение зяблевой пахоты двояко сказалось на эрозии. Уменьшение стока приводит к уменьшению эрозии до полного ее прекращения при нулевых уклонах. Вместе с тем, отсутствие растительного покрова приводит к интенсификации эрозионного смыва. В настоящее время эрозия отсутствует на большей части водосбора в маловодные годы, но приобретает порой катастрофические масштабы в многоводные годы.

Вынос различных загрязняющих веществ происходит не только с поверхностным стоком, но и с подземным (преимущественно почвенным и грунтовым). Поступление этих веществ в теплый период года происходит в основном по потускулам, расположенным в том числе в верхних звеньях гидрографической сети, куда притекает поверхностный склоновый сток, поскольку уровень грунтовых вод, особенно в лесостепных и степных районах, располагается в это время года на большой глубине. Интересно, что по наблюдениям одного из авторов данной статьи С. В. Долгова в летне-осенний период в Воронежской области экстремально высокая концентрация биогенов (нитратов, нитритов, аммонийного азота, фосфатов) обнаружена именно в подземных водах (в том числе под сельскохозяйственными угодьями и лесопосадками за пределами населенных пунктов и ферм). Биогены в больших количествах не только поступают в реки, вызывая «цветение» в них воды, но и достаточно активно «потребляются» населением при использовании грунтовых вод для питьевых целей.

Гидрохимическое и гидробиологическое состояние малых рек в значительной мере могут служить показателем диффузного загрязнения, поставляемого с водосбора, если на них отсутствуют источники точечного поступления загрязняющих веществ (населенные пункты, промышленные предприятия, животноводческие комплексы и т. д.). На малых реках Воронежской области наиболее часто отмечалось превышение ПДК по аммонийному азоту, реже — нитритам. Было характерно также высокое содержание в воде фосфатного фосфора, с превышением ПДК до 5–8 раз (р. Чигла в 1,5 км ниже д. Орлов-

ки — 5 раз, р. Усмань в Воронежском заповеднике — 7,3). Наблюдаемая в ряде случаев острая гидроэкологическая ситуация усугубляется повышенным содержанием сульфатов, а в р. Чигла отмечалось превышение ПДК и по минерализации. Вода малых рек нередко оказывается более низкого качества. Так, по индексу сапробности (РД 52.24.309–92) она на момент обследования была загрязненной в рр. Девице, Бузулуке, Чигле и лишь в оз. Чистом (Воронежский зап.) и р. Битюге — умеренно загрязненной.

Фитопланктону принадлежит ведущая роль в процессах эвтрофирования речных экосистем. Но вряд ли целесообразно увязывать эти процессы только с избытком биогенов в речной воде за счет выноса удобрений с водосборной площади. В этой связи важно отметить, что значительная часть движущейся по речному руслу воде организмов фитопланктонных сообществ оказывается не руслового, а водосборного происхождения. Не только удобрения, но и водоросли могут активно мигрировать с водосбора.

В реках происходит значительное снижение содержания биогенов (в среднем на 30–40 %). Происходит это по той причине, что, во-первых, в поймах существует окислительно-восстановительный геохимический барьер, во-вторых, травянистая и древесная растительность в поймах и на прибрежных участках, а также фитопланктон в самих реках, в процессе жизнедеятельности биогены активно потребляют. Тем самым, осуществляется биотическая регуляция химического состава речных вод.

Исследования показали, что ежегодно возобновляемым источником биогенов и других химических веществ, поступающих в подземные и поверхностные воды, является растительность. Причем атмосферные осадки весьма существенно обогащаются химическими веществами (особенно биогенами) за счет вымывания их из живых тканей растений, а не только из мертвых (опада, подстилки). Содержание биогенов обычно значительно больше в водных вытяжках из растений по сравнению с поверхностью почв. Вследствие разомкнутости вещественного обмена в системе «почва–растительность» немало биогенов растительного происхождения с инфильтрующейся влагой может достигать грунтовых вод и в них накапливаться.

Современный высокий уровень биогенной нагрузки на водные экосистемы не обусловлен именно сельскохозяйственными растениями. Повсеместно выращиваемые растения — пшеница и ячмень — мало отличаются в гидрохимическом отношении от степных травянистых растений-эдикаторов, которые тоже вносят свой вклад в биогенное загрязнение рек и водоемов.

Более важным представляется способность водоносных горизонтов накапливать биогены за длительный многолетний период, а также повышенная гидрохимическая активность травянистой растительности в поймах. Ежегодно значительная часть биогенов пойменного происхождения поверхностным или подземным путем достаточно быстро попадает в речные русла.

Минеральным азотом обогащаются талые и дождевые воды, прежде всего, на нераспаханных (используемых только для выпаса) плакорных и склоновых участках и особенно в поймах. Потери азота из поверхностного слоя каштановых почв на целинных участках и залежах на 15–20 % больше, чем из почв под сельскохозяйственными культурами. Для черноземов эта разница еще более возрастает, превышая 20 %. Вследствие более низкой миграционной активности фосфора разница в потерях из почв нераспаханных и занятых выращиваемыми культурами выражена слабо.

Выводы

1. Главный источник диффузного загрязнения рек и водоемов поверхностный склоновый сток в период половодья в южной части Русской равнины имеет отчетливо выраженную тенденцию к уменьшению. По сравнению с периодом исчисления нормы речного стока по К. П. Воскресенскому (конец XIX века – 1950-е гг.) средний взвешенный (с учетом структуры угодий и состава почвогрунтов) поверхностный склоновый сток за счет широкого внедрения зяблевой (осенней) пахоты снизился к 1960–1980-м гг. в среднем на 20 % в северной части лесостепи, на 30–40 % в южной части лесостепи и на большей части степной зоны и почти в 5 раз на юге последней. К настоящему времени в результате в основном климатических изменений этот сток снизился от 2 раз в северной лесостепи европейской части РФ до более 10 раз в южной части степной зоны. Если бы не сокращение площади зяблевой (осен-

ней) пахоты, характеризующейся пониженным стоком, это уменьшение было бы еще больше.

2. В результате более теплых зим и меньшего промерзания почвы улучшились условия инфильтрации и увеличился сток склоновых подземных вод в речную сеть в период половодья. Значительную роль в пополнении подземных вод играет так называемое потускулярное (очаговое) питание, осуществляемое за счет притекающего к потускулам поверхностного склонового стока.

3. В теплый период года поверхностный склоновый сток увеличился в последние годы, особенно на площади занимаемой гидрографической сетью, где складываются наиболее благоприятные условия для его формирования, как, впрочем, и для подземного стока. Соответственно возросла доля теплого периода года в диффузном загрязнении рек и водоемов, в значительной мере за счет поступления загрязненных склоновых подземных вод.

4. Гидрохимическое и гидробиологическое состояние малых рек в значительной мере могут служить показателем диффузного загрязнения, поставляемого с водосбора, если на них отсутствуют источники точечного поступления загрязняющих веществ (населенные пункты, промышленные предприятия, животноводческие комплексы и т. д.). В составе диффузного загрязнения малых рек в последние годы преобладают биогены (нитраты, аммонийный азот, нитриты, фосфаты). Фитопланктону принадлежит ведущая роль в процессах эвтрофирования речных экосистем.

5. Значительная часть в движущейся по речному руслу воде организмов фитопланктонных сообществ оказывается не руслового, а водосборного происхождения. Не только удобрения, но и водоросли могут активно мигрировать с водосбора.

6. Современный высокий уровень биогенной нагрузки на водные экосистемы не обусловлен именно сельскохозяйственными растениями. Повсеместно выращиваемые растения — пшеница и ячмень — мало отличаются в гидрохимическом отношении от степных травянистых растений-эдикаторов, которые тоже вносят свой вклад в биогенное загрязнение рек и водоемов.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 17-17-01262.

Литература

1. Барабанов, А. Т., Качарь, М. Н. (2002). Саморегулирующая и противозероизирующая роль различных агрофонов в Нижнем Поволжье. Современные проблемы земледелия и экологии. Курск, сс. 126–131.
2. Барабанов, А. Т., Панов, В. И. (2012). К вопросу о прогнозе поверхностного стока талых вод в лесостепной и степной зонах. Аридные экосистемы, т. 18, № 4 (53), сс. 22–27.
3. Водные ресурсы России и их использование (2008). СПб.: ГГИ, 598 с.
4. Водограцкий, В. Е. (1979). Влияние агролесомелиораций на годовую сток: методика исследований и расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 184 с.
5. Воскресенский, К. П. (1962). Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 546 с.
6. Грин, А. М. (1963). Динамика водного баланса Центрально-Черноземного района. М.: Наука, 148 с.
7. Джамалов, Р. Г., Фролова, Н. Л., Киреева, М. Б. и др. (2015). Современные ресурсы поверхностных и подземных вод европейской части России: Формирование, распределение, использование. М.: ГЕОС, 320 с.
8. Долгов, С. В., Шапоренко, С. И., Сенцова, Н. И. (2010). Современное состояние водных ресурсов в Ростовской области. Аридные экосистемы, т. 16, № 4(44), сс. 49–62.
9. Закруткин, В. Е., Коронкевич, Н. И., Шишкина, Д. Ю., Долгов, С. В. (2004). Закономерности антропогенного преобразования малых водосборов степной зоны Юга России (в пределах Ростовской области). Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 252 с.
10. Кондратьев, С. А. (1990). Оценка возможных антропогенных изменений стока и выноса биогенных элементов с малых водосборов лесной зоны на основе математической модели. Водные ресурсы, № 3, сс. 24–32.
11. Коронкевич, Н. И. (1990). Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 204 с.
12. Львович, М. И. (1963). Человек и воды. М.: Географиз, 568 с.
13. Назаров, Н. А. (1996). Оценки эрозионного смыва почв и выноса биогенных элементов с поверхностным стоком талых и дождевых вод в речном бассейне. Водные ресурсы, т. 23, № 6, сс. 645–652.
14. Петелько, А. И., Панов, В. И. (2014). Характеристика поверхностного стока талых вод с разных угодий за 50 лет. Вестник АПК Ставрополя, № 4(16), сс. 155–162.
15. Пряжинская, В. Г. (2001). Математические модели выноса биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий. Вода России. Математическое моделирование в управлении водопользованием. Екатеринбург: Изд-во Аква-пресс, сс. 130–140.
16. Хрисанов, Н. И., Осипов, Г. К. (1993). Управление эвтрофированием водоемов. СПб.: Гидрометеиздат, 279 с.
17. Чернышев, Е. П., Барымова, Н. А., Иванова, Н. Б., Китаев, Л. М. (1992). Пространственно-временная дифференциация гидрологических процессов и связанного с ними вещественного обмена в системе «водосбор–река». Географо-гидрологические исследования. М.: ИГ РАН, МЦ ГО РФ, сс. 4–26.

18. Чуян, Г. А., Бойченко, З. А., Тур, О. П. (1985). Методические рекомендации по оценке выноса биогенных веществ поверхностным стоком. М.: ВАСХНИЛ, 32 с.

19. Шилькрот, Г. С., Ясинский, С. В. (2002). Пространственно-временная изменчивость потока биогенных элементов и качества воды малой реки. Водные ресурсы, т. 29, № 3, сс. 343–349.

References

1. Barabanov, A. T., Kachkar, M. N. (2002). Samoreguliruyushchaya i protivohrozionnaya rol' razlichnykh agrofonov v Nizhnem Povolzh'e [Self-regulatory and anti-erosion role of various agrophones in the Lower Volga Region]. In: Sovremennye problemy zemledeliya i ehkologii. Kursk, pp. 126–131 (in Russian).

2. Barabanov, A. T., Panov, V. I. (2012). K voprosu o prognoze poverhnostnogo stoka talyh vod v lesostepnoj i stepnoj zonah [On the issue of the forecast of the meltwater surface runoff in the forest-steppe and steppe zones]. Aridnye ehkossistemy, vol. 18, № 4 (53), pp. 22–27 (in Russian).

3. Vodnye resursy Rossii i ih ispol'zovanie [Water resources of Russia and their use] (2008). SPb.: GGI, 598 p. (in Russian).

4. Vodogreckij, V. E. (1979). Vliyanie agrolesomelioracij na godovoj stok: metodika issledovaniy i raschety [The influence of agroforestry improvement on annual runoff: research methodology and calculations]. L.: Gidrometeoizdat, 184 p. (in Russian).

5. Grin, A. M. (1963). Dinamika vodnogo balansa Central'no-CHernozemnogo rajona [Dynamics of the water balance of the Central Black Earth region]. M.: Nauka, 148 p. (in Russian).

6. Dzhamalov, R. G., Frolova, N. L., Kireeva, M. B. (2015). Sovremennye resursy poverhnostnykh i podzemnykh vod evropejskoj chasti Rossii: Formirovanie, raspredelenie, ispol'zovanie [Modern resources of surface and groundwater in the European part of Russia: Formation, distribution, use]. M.: GEOS, 320 p. (in Russian).

7. Dolgov, S.V., Shaporenko, S. I., Sencova, N. I. (2010). Sovremennoe sostoyanie vodnykh resursov v Rostovskoj oblasti [Current state of water resources in the Rostov Region]. Aridnye ehkossistemy, vol. 16, № 4(44), pp. 49–62. (in Russian).

8. Zakrutkin, V. E., Koronkevich, N. I., Shishkina, D. Yu., Dolgov, S. V. (2004). Zakonomernosti antropogennogo preobrazovaniya malyh vodosborov stepnoj zony Yuga Rossii (v predelakh Rostovskoj oblasti) [The patterns of the small catchments anthropogenic transformation in the steppe zone of the South of Russia (within the Rostov region)]. Rostov-on-Don: Izd-vo Rost. un-ta, 252 p. (in Russian).

9. Kondratev, S. A. (1990). Ocenka vozmozhnykh antropogennykh izmenenij stoka i vynosa biogennykh ehlementov s malyh vodosborov lesnoj zony na osnove matematicheskoy modeli [Assessment of possible anthropogenic changes in runoff and biogenic elements export from small catchments in the forest zone on the basis of a mathematical model]. Vodnye resursy, №3, pp. 24–32 (in Russian).

10. Koronkevich, N. I. (1990). Vodnyj balans Russkoj ravniny i ego antropogennye izmeneniya [The water balance of the Russian Plain and its anthropogenic changes]. M.: Nauka, 204 p. (in Russian).

11. Lvovich, M. I. (1963). Chelovek i vody [Man and water]. M.: Geografiz, 568 p. (in Russian).

12. Nazarov, N. A. (1996). Ocenki ehrozionnogo smyva pochv i vynosa biogennykh ehlementov s poverhnostnym stokom talyh i dozhdevykh vod v rechnom bassejne [Estimates of erosive flushing of soils and biogenic elements export with melted and rainwater surface runoff in the river basin]. Vodnye resursy, vol. 23, № 6. pp. 645–652. (in Russian).

13. Petel'ko, A. I., Panov, V. I. (2014). Harakteristika poverhnostnogo stoka talyh vod s raznykh ugodij za 50 let [Characteristics of the meltwater surface runoff from different lands in 50 years]. Vestnik APK Stavropol'ya, № 4(16), pp. 155–162 (in Russian).

14. Pryazhinskaya, V. G. (2001). Matematicheskie modeli vynosa biogennykh veshchestv s sel'skohozyajstvennykh ugodij [Mathematical models of nutrient export from agricultural lands]. In: Voda Rossii. Matematicheskoe modelirovanie v upravlenii vodopol'zovaniem. Moscow, Izd-vo Akva-press. pp. 130–140. (in Russian).

15. Hrisanov, N. I., Osipov, G. K. (1993). Upravlenie ehvtrofirovaniem vodoemov [Reservoirs eutrophication management]. SPb.: Gidrometeoizdat, 279 p. (in Russian).

16. Chernyshev, E. P., Barymova, N. A., Ivanova, N. B., Kitaev, L. M. (1992). Prostranstvenno-vremennaya differenciatsiya gidrologicheskikh processov i svyazannogo s nimi veshchestvennogo obmena v sisteme «vodosbor-reka» [Spatial-temporal differentiation of hydrological processes and associated material exchange in the «watershed-river» system]. In: Geografo-gidrologicheskie issledovaniya. M.: IG RAN, MC GO RF. pp. 4–26. (in Russian).

17. Chuyan, G. A., Bojchenko, Z. A., Tur, O. P. (1985). Metodicheskie rekomendacii po ocenke vynosa biogennykh veshchestv poverhnostnym stokom [Methodical recommendations on assessment of nutrient export by surface runoff]. M.: VASKHNIL. 32 p. (in Russian).

18. Shilkrot, G. S., Yasinskij, S. V. (2002). Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' potoka biogennykh ehlementov i kachestva vody maloj reki [Spatial-temporal variability of the biogenic elements flow and water quality of a small river]. Vodnye resursy, vol. 29, №3, pp. 343–349. (in Russian).

Авторы

Коронкевич Николай Иванович, д-р геогр. наук, профессор

Институт водных проблем РАН

E-mail: koronkevich@igras.ru

Долгов Сергей Владимирович, канд. геогр. наук

Институт географии РАН

E-mail: dolgov@bibch.ru

Authors

Koronkevich Nikolay Ivanovich, Dr. of Geography, professor

Water Problems Academy

E-mail: koronkevich@igras.ru

Dolgov Sergey Vladimirovich, Ph. D. in Geography

Institute of Water Problems RAS

E-mail: dolgov@bibch.ru