ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОХРАНА ЛАНДШАФТОВ

УДК 556.16:556.51
DOI: 10.18384/2712-7621-2021-1-42-52

ВОДНЫЙ СТОК КАК ИНДИКАТОР ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БАССЕЙНОВ МАЛЫХ РЕК

Бортновский З. В.

Независимый исследователь
160000, г. Вологда, Российская Федерация

Аннотация

Цель. Обосновать индикационную роль водного стока на уровне геосистем бассейнов малых рек.

Процедура и методы. Проанализированы опубликованные материалы, рассматривающие различные аспекты, сопряженные с функциональными особенностями геосистем бассейнов малых рек, взаимосвязью их водного стока с комплексом стокоформирующих факторов, особое место среди которых занимает антропогенное воздействие, а также возможностями использования данных об изменчивости водного стока малых рек в системе мониторинга за состоянием окружающей среды.

Результаты. Изучены функциональные особенности бассейнов малых рек, которые позволяют рассматривать их водный сток как геоэкологический индикатор. Это обусловлено тесной связью стока с ландшафтными условиями в бассейнах рек. При этом бассейны рек являются ареной для разнообразных видов хозяйственной деятельности, которые, в свою очередь, оказывают прямое и косвенное воздействие на компоненты стока. Прямое воздействие проявляется преимущественно через влияние трансформации почвенно-растительного покрова в бассейне реки на соотношение поверхностного и подземного стока. Косвенное воздействие связано с заилением русловой сети в результате поступления с территории бассейна реки избыточного количества наносов, превышающих эрозионно-транспортирующую способность малых рек. Применительно к водному стоку существенным следствием является усиление амплитуды его внутригодового распределения – увеличение половодного, паводкового и снижение меженного стока.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты исследования свидетельствуют, что анализ пространственно-временной изменчивости водного стока малых рек является актуальной геоэкологической задачей, решение которой для разных сочетаний ландшаф-

© CC BY Бортновский З. В., 2021.

тно-экологических условий способствует выработке практических рекомендаций по организации их рационального природопользования.

Ключевые слова: водный сток, малые реки, речной бассейн, водосбор, ландшафтно-экологические условия

RUNOFF AS AN INDICATOR OF LANDSCAPE-ECOLOGICAL CONDITIONS IN BASINS OF SMALL RIVERS

Z. Bortnovsky

Independent researcher
160000, Vologda, Russian Federation

Abstract

Aim. The aim is to substantiate the indicative role of runoff at the level of geosystems of small river basins.

Methodology. The analysis is based on published materials about such aspects, as functional features of small river geosystems and relations between runoff and its formation factors, including human impact and possibilities of using data about runoff variability as part of environmental monitoring.

Results. Runoff is considered as a geoecological indicator. This is due to functional features of small river basin geosystems. Here runoff is highly dependent on basin landscape conditions, which are influenced by human activity. This has a direct and indirect impact on runoff. Direct impact is manifested largely due to soil and vegetation transformations that affect the ratio of surface and subterranean runoff. Indirect impact is related to channel siltation as a result of sediment excess from the basin. An important consequence of this is an increase in an intra-annual runoff amplitude.

Research implications. The results of the research show that analysis of small river runoff spatial and temporal variation is an actual geoecological task. Solving this task for different landscape-ecological conditions can help formulate some practical recommendations for basins management.

Keywords: runoff, small rivers, river basin, catchment area, landscape-ecological conditions

Введение

Функционирование ландшафтов обеспечивается различными процессами, связанными с переносом, трансформацией и обменом веществом и энергией. Среди них фундаментальное значение занимает сток, являющийся, с одной стороны, связующим механизмом взаимодействия компонентов природных ландшафтов [2, с. 51; 16, с. 44], а с другой – сам в значительной степени регулируемый живым веществом при функционировании системы: «растительность – почва – зона активного водообмена» [8, с. 62]. В общегеографическом смысле понятие речного стока многокомпонентно и включает сток воды, наносов, растворенных веществ, биологический сток и сток теплоты [2, с. 48–49], а сам сток – процесс одновременно гидрологический, геоморфологический, геохими-

ческий [10, с. 167]. В настоящей работе речной сток рассматривается в контексте своего основного компонента – стока воды, для его обоснования как геоэкологического индикатора применительно к бассейнам малых рек, что обусловлено их функциональными особенностями в ряду геосистем разного масштабного уровня.

Анализ проблемы

Функциональные особенности геосистем бассейнов малых рек

Речные бассейны являются главными звеньями биосферной организованности на суше [7, с. 68–71; 8, с. 61–63]. Крупные речные бассейны в качестве функциональной составляющей включают систему бассейнов малых рек, которые, по крайней мере в гумидном климате, являются основой гидрологической сети, преобладая в ней как по численности, так и по суммарной протяженности [1; 18].

Формальными критериями отнесения реки к категории «малой» являются площадь водосбора[1], не превышающая 2 000 кв. км, а также её протяженность, определяемая в разных трактовках до 100 либо до 200 км [1; 3]. Наряду с указанными количественными критериями, для малых рек характерен важный качественный признак, который во многом и определяет индикационную роль их водного стока. Известно, что в общем случае он является результатом положительного баланса между осадками и испарением, что отображает ведущую роль климата в его формировании. Однако с уменьшением площади водосбора усиливается влияние местных факторов, которые влияют на речной бассейн. Это находит отражение в определении, что малой является «река, бассейн которой располагается в одной географической зоне, и гидрологический режим ее под влиянием местных факторов может быть не свойственен для рек этой зоны»[2]. Таким образом, хотя в целом гидрологический режим малой реки естественным образом связан с географической зональностью [3], он в значительно большей степени, чем у более крупных рек, зависит от местных факторов формирования стока (местных ландшафтных факторов). Эту особенность малых рек – тесную связь с окружающим ландшафтом – отмечают многие исследователи. Гидролог С. Л. Вендров с коллегами акцентируют внимание на том, что влияние на состояние реки происходит через почву, растительность, подземные воды – компоненты ландшафта [3]. Геоморфолог А. Н. Кичигин обращает внимание на то, что водность и состояние русел малых рек в существенно большей степени, относительно более крупных водотоков, контролируются ландшафтными особенностями водосбора и указывает, что степень их влияния тем больше, чем меньше площадь водосбора [11]. В своих работах гидролог В. Л. Рохмистров отмечает, что «процессы, происходящие на малом водосборе, быстро отражаются на состоянии реки, ее стоке, химическом качестве воды, переформировании берегов и фарватера» [17, с. 9]. Гидролог Н. И. Алексеевский обращает внимание, что, хотя малые реки нередко воспринимаются как линейные объекты, но реально являются сово-

[1] Понятия водосбора и бассейна по тексту не дифференцируются.

[2] Гидрология суши. Термины и определения. ГОСТ 19179-73.

купностью «двух каскадно-связанных элементов: водосборной территории, где формируется основная часть стока, и собственно русла, в котором он концентрируется» [1, с. 67]. Таким образом, водный сток малой реки во многом контролируется состоянием водосбора.

Физические основы индикации

При анализе индикационной роли стока важно, что он представляет собой многофакторный процесс. Классификация стокоформирующих факторов, совместное влияние которых определяет норму и режим стока применительно к малым рекам, может проводиться по-разному, хотя в целом подходы обнаруживают сходство. Факторы стока подразделяются на зональные и внутризональные (местные) [18]. Первые включают климатические факторы и сочетания факторов подстилающей поверхности[1], которые совместно обусловливают плавное и непрерывное изменение характеристик стока. Местные же факторы являются отклонением от типичных зональных условий и вызывают флуктуации стока. В другом варианте выделяются группы климатических (погодно-климатических) и местных (бассейновых или факторов подстилающей поверхности) [6; 12], при этом их действие в разные фазы водного режима дифференцировано, что подробно показано в работах [4; 5]. Группа климатических факторов включает осадки, испарение и температуру воздуха. К бассейновым факторам, характеризующим подстилающую поверхность, относятся, помимо собственно размеров бассейна, особенности рельефа (расчлененность, углы уклона и преобладающие экспозиции склонов и др.); почвогрунтов (водопроницаемость, водоемкость и др.); растительности (тип, состав и др.); параметры озерности и заболоченности водосборов [12].

Механизм действия бассейновых факторов, влияние которых на сток именно для малых рек наиболее существенно, связан с интенсивностью и соотношением поверхностного и подземного стоков как источников питания. Для поверхностного стока ключевым аспектом является степень регуляции подстилающей поверхностью поступления талых и дождевых вод с территории водосбора в русло, включая частичный перехват и перевод в подземный сток и испарение (при этом особенно важно состояние почвенно-растительного покрова водосбора); для подземного стока – степень дренажа подземных вод, определяемая местными гидрогеологическими условиями и глубиной эрозионного вреза, которая для малых рек обычно незначительна, что, в свою очередь, является существенным лимитирующим фактором меженного стока, когда питание обеспечивается подземными водами. Этот фактор иногда выделяется особо как причина более резкой реакции водного режима малой реки на изменение состояния водосбора [6; 9; 21]. При этом вполне ясно, что это состояние тесно связано с особенностями хозяйственной деятельности.

Роль антропогенного фактора

Антропогенная деятельность на водосборе так или иначе затрагивает многие компоненты ландшафта. Её влияние может быть как общим для

[1] Которые в данном контексте, по-видимому, можно считать климатообусловленными.

разных природных зон (например, сброс сточных вод, смыв с урбанизированных территорий), так и «приуроченным» к особенностям зонального природопользования [21]. Наиболее распространенным воздействием, связанным с влиянием на водный сток, является трансформация растительного и почвенного покрова в речном бассейне[1]. В таежной зоне она определяется преимущественно вырубкой лесов (включая сопутствующее этому нарушение почвенного покрова) с их последующим возобновлением и соответствующими изменениями таксационных показателей древостоев; для лесостепной, степной зон (а в отдельных случаях и для таёжной) – спецификой арготехнических приемов на сельскохозяйственных угодьях (пахота вдоль/поперек склонов, сроки/периодичность вспашки), интенсивностью пастбищной нагрузки и т. д. Это влияет на многие сезонные процессы, связанные с водным стоком. В их числе такие, как: глубина промерзания почвы и интенсивность снегонакопления – в холодный период года, интенсивность снеготаяния и фильтрации талых вод – весной, транспирации – летом, перехвата дождевого стока – в тёплый период. Ключевым следствием является внутригодовое перераспределение стока, которое выражается в росте амплитуды его колебаний: усилении половодного и паводкового стоков и снижении меженного. Такие явления для малых рек отмечаются во многих работах, например, [1; 3; 13; 20]. При этом значимость этих явлений заметно усиливается в условиях климатических изменений, сопровождающихся, в том числе, эпизодами значительных осадков, которые ощутимо влияют на краткосрочные колебания режима малых рек, определяя риски наводнений и социально-экономического ущерба. В качестве меры для снижения подобных рисков получила развитие концепция LID (low impact development), в рамках которой на уровне малых водосборов при инфраструктурном развитии предпринимаются меры по задержке поверхностного стока и переводу его в подземный с использованием «природоподобных» технологий [22; 23].

Изменения почвенно-растительного покрова водосбора, будучи в целом сравнительно хорошо детектируемыми, влекут за собой менее явные, но не менее важные для водного стока малых рек последствия, связанные с процессами заиления. Это подчеркивает тесную связь между компонентами стока, то есть в данном случае стока воды и наносов. Малые реки обладают в отношении наносов небольшой транспортирующей способностью и увеличение количества наносов поступающих в русло способно сильно его трансформировать, вплоть до исчезновения [8; 19]. Этому активно способствует указанная антропогенная деятельность: распашка водосборов, в особенности склонов и припойменных участков; сведение лесов,

[1] В этой связи представляется не утратившим актуальности комментарий о том, что формы нерационального природопользования в речном бассейне нередко являются следствием не столько необходимости, сколько недостатка соответствующих знаний. Это, в свою очередь, связывается с несовершенством нормативной и правовой базы и распределения контрольных полномочий применительно к объектам первичной гидрографической сети (самые малые, в том числе временные водотоки) [3, с. 12–13].

в том числе припойменной древесно-кустарниковой растительности и др. Такие формы обычно характеризуются площадным и линейно-площадным распространением. Кроме того, следует отметить локализованные источники поступления наносов, например, при строительстве и реконструкции мостовых переходов, «стихийном» проезде автомобильного транспорта у прибрежной зоны и др. Все эти виды антропогенного воздействия активизируют вынос частиц почвы с талым и ливневым стоком на пойму и в русло. Здесь отлагается избыток наносов, превышающих эрозионно-транспортирующую способность водотока, в свою очередь контролируемую параметрами его водности и уклона [14]. Так происходит аггредация речных долин, то есть частичное или полное заполнение их наносами [8; 24]. Дренажные свойства заиленных русел снижаются, ухудшается питание подземными водами (в том числе в результате деградации переуглубленных участков на плесах – омутов, бочагов – связанных с разгрузкой подземных вод). В приречных ландшафтах меняется режим грунтовых вод, повышается вероятность заболачивания и подтопления, в равнинных условиях редуцируются верховья русловой сети [11; 13; 14; 15; 20].

Помимо влияния на местную геоэкологическую обстановку, указанные механизмы позволяют понять более общие принципиальные геоэкологические положения, отмеченные С. П. Горшковым. Развитый почвенно-растительный покров водосборов сдерживает механическую денудацию за счёт задержания поверхностного стока и частичного его перевода в подземный. Это, во-первых, сохраняет почвенно-элювиальный чехол как важный элемент естественной системы очистки фильтрующейся воды, а также как хранилище влаги и источник подземного питания водотоков, а во-вторых – предохраняет русла от избытка наносов, что является одним из условий устойчивого проявления глубинной эрозии. Все это позволяет считать, что разветвленная и протяженная – за счёт многочисленных малых рек – сеть речных долин имеет интегральную биогенно-геодинамическую природу [8].

Значение для мониторинговых исследований

Обобщение указанных факторов влияния на водный сток малых рек представлено на рисунке 1.

Структура блоков отображает собственно ландшафтно-экологические условия в бассейне, когда на естественные стокоформирующие факторы «накладывается» антропогенное влияние. Это соответствует обозначенному Н. И. Алексеевским концептуальному подходу, согласно которому речной сток приобретает смысл признака изменений состояния окружающей среды, в том числе на бассейновом уровне, поскольку «отражает специфику функционирования природного комплекса бассейнов рек большего или меньшего размера в конкретных ландшафтных условиях и при характерном уровне природопользования». Принципиальным следствием этого является возможность использования информации о пространственно-временных изменениях речного стока. Интерпретация такой информации – это «реальный путь к организации мо-

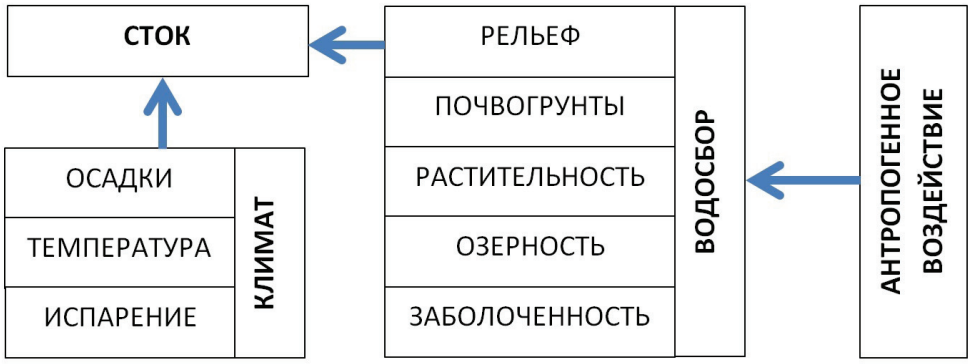

Рис. 1 / Fig 1. Влияние ландшафтно-экологических условий на водный сток малых рек / The influence of landscape-ecological conditions on small river runoff

Источник: составлено автором с использованием [4; 5; 6; 12]

ниторинга над природными и антропогенными изменениями окружающей среды» [2, 68].

В этой связи следует отметить ряд аспектов. Пространственный и временно́й компонент анализа обладают своими особенностями. Временны́е интервалы анализа влияют на логику индикации с учетом, помимо динамики климатических характеристик, также истории природопользования в бассейне реки. С точки зрения пространственного анализа важен учет разнообразия ландшафтных условий в бассейнах рек. В связи с этим следует подчеркнуть значение ненарушенных и слабонарушенных бассейнов рек (прежде всего с точки зрения почвенно-растительного покрова). Такие территории дают возможность оценить воздействие на сток различий природных условий, а при их сходстве – послужить «фоном» для оценки влияния антропогенного фактора. Не менее важна конкретизация цели и задач мониторинга (например, акцент на изучении нормы или режима стока) во взаимосвязи с приоритетами организации рационального природопользования в бассейне малой реки (водоснабжение, рекреация, гидроэнергетика и т. д.).

Выводы

Индикационная роль водного стока малых рек обусловлена тесной связью с ландшафтными условиями водосборов, которые в свою очередь испытывают влияние хозяйственной деятельности. Антропогенные изменения водного стока, выражающиеся в том числе в усилении его годовой амплитуды, определяются как прямой трансформацией почвенно-растительного покрова водосборов, вызывающей изменения в соотношении поверхностного и подземного стоков, так и косвенным влиянием через усиление стока наносов, превышающих эрозионно-транспортирующую способность малых рек, способствующих их заилению и частичному вырождению.

Связь с ландшафтно-экологической обстановкой в бассейне позволяет рассматривать изучение пространственно-временной изменчивости водного стока малых рек как геоэкологическую задачу. Её решение имеет значение для выработки практических рекоменда-

ций по организации рационального природопользования на бассейновом уровне. При этом разнообразие ландшафтно-экологических условий является основанием для возможности использования дифференцированных подходов к управлению бассейнами малых рек и их водными ресурсами.

Статья поступила в редакцию 09.11.2020

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеевский Н. И. Концепция геостока и состояние малых рек // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 3. М.: МГУ, 2000. С. 66–75.
2. Алексеевский Н. И. Речной сток: географическая роль и индикационные свойства // Вопросы географии. Вып. 133. Географо-гидрологические исследования. М.: ИД Кодекс, 2012. С. 48–71.
3. Вендров С. Л., Коронкевич Н. И., Субботин А. И. Проблемы малых рек // Вопросы географии. Вып. 118. Малые реки. М.: Мысль, 1981. С. 11–18.
4. Владимиров А. М. Факторы формирования экстремального стока в маловодный сезон // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2008. № 7. С. 13–22.
5. Владимиров А. М. Факторы, определяющие возникновение экстремальных расходов и уровней воды половодья // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2009. № 9. С. 22–39.
6. Водогрецкий В. Е. Антропогенное изменение стока малых рек. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1990. 175 с.
7. Горшков С. П. Организованность биосферы и устойчивое развитие // Жизнь Земли. 2015. Т. 37. С. 62–84.
8. Горшков С. П. Учение о биосфере. Введение. М.: Географический факультет МГУ, 2007. 118 с.
9. Зайцева И. С. Роль природных факторов при антропогенном изменении водных ресурсов малых рек Русской равнины // Вопросы географии. Вып. 118. Малые реки. М.: Мысль, 1981. С. 93–97.
10. Исаченко А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1991. 365 с.
11. Кичигин А. Н. Причины деградации русел малых рек Вологодской области // Геоморфология. 1992. № 1. С. 56–61.
12. Комлев А. М. Закономерности формирования и методы расчетов речного стока. Пермь: Пермский государственный университет, 2002. 162 с.
13. Коронкевич Н. И., Зайцева И. С., Ясинский С. В. Водорегулирующая роль лесов и проблемы малых рек // Лесная промышленность. 1997. № 1. С. 28–29.
14. Малые реки как наиболее уязвимое звено речной сети / Г. П. Бутаков, А. П. Дедков, А. Н. Кичигин, В. И. Мозжерин, В. Н. Голосов, А. Ю. Сидорчук, А. В. Чернов // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 2. Материалы координационных совещаний вузов 1991–1995. М.: МГУ, 1996. С. 56–70.
15. Матвеев Н. П. Состояние пойм малых рек Московской области, их использование и охрана // Малые реки центра Русской равнины, их использование и охрана: сб. ст. / АН СССР, Моск. фил. Геогр. о-ва СССР; Отв. ред. Н. П. Матвеев. М.: МФГО, 1988. С. 61–70.
16. Николаев В. А. Ландшафтоведение: семинарские и практические занятия. М.: Географический фак. МГУ, 2006. 208 с.

17. Рохмистров В. Л. Малые реки Ярославского Поволжья. Ярославль: Издание ВВО РЭА, 2004. 54 с.
18. Ткачев Б. П., Булатов В. И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2002. 113 с.
19. Формы проявления эрозионно-аккумулятивных процессов на малых речных водосборах / Г. П. Бутаков, О. П. Ермолаев, В. И. Мозжерин и др. // Эрозионные и русловые процессы. Луцк, 1991. С. 19–42.
20. Чернов А. В. Современное развитие малых рек центральных районов Европейской части СССР // Малые реки центра Русской равнины, их использование и охрана : сб. ст. / АН СССР, Моск. фил. Геогр. о-ва СССР; отв. ред. Н. П. Матвеев. М.: МФГО, 1988. С. 15–24.
21. Ясинский С. В. Современное гидроэкологическое состояние малых равнинных рек // Вопросы географии. Вып. 133. Географо-гидрологические исследования. М.: ИД Кодекс, 2012. С. 394–406.
22. Bell C. D., Wolfand J. M., Panos C. L., et al. Stormwater control impacts on runoff volume and peak flow: A meta-analysis of watershed modelling studies // Hydrological Processes. 2020. Vol. 34. Iss. 14. P. 3134–3152. DOI.
23. Eckart K., McPhee Z., Bolisetti T. Performance and implementation of low impact development // Science of The Total Environment. 2017. Vol. 607–608. P. 413–432.
24. Hagans D. K., Weaver W. E., Madej M. A. Long-term on-site and off-site effects of logging and erosion in the Redwood Creek basin, Northern California // Papers presented at the American Geophysical Union Meeting on Cumulative Effects. NCASI Technical Bulletin. 1986. № 490. P. 38–66.

REFERENSES

1. Alekseevskij N. I. [Geological runoff concept and the state of small rivers]. In: *Erozionnye i ruslovye processy. Vyp. 3* [Erosional and channel processes. Issue 3]. Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 2000, pp. 66–75.
2. Alekseevskij N. I. [River Runoff: Geographical Role and Indicative Properties]. In: *Voprosy geografii. Vyp. 133. Geografo-gidrologicheskie issledovaniya* [Geography issues. Issue. 133. Geographic and hydrological research]. Moscow, ID Kodeks Publ., 2012, pp. 48–71.
3. Vendrov S. L., Koronkevich N. I., Subbotin A. I. [Problems of small rivers]. In: *Voprosy geografii. Vyp. 118. Malye reki* [Geography issues. Issue 118. Small rivers]. Moscow, Mysl' Publ., 1981, pp. 11–18.
4. Vladimirov A. M. [Factors in the formation of extreme runoff in dry season]. In: *Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University], 2008, no. 7, pp. 13–22.
5. Vladimirov A. M. [Factors Determining the Occurrence of Extreme Flows and Flood Levels]. In: *Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University], 2009, no. 9, pp. 22–39.
6. Vodogretskii V. E. *Antropogennoe izmenenie stoka malykh rek* [Anthropogenic change in the runoff of small rivers]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1990. 175 p.
7. Gorshkov S .P. [Organization of the biosphere and sustainable development]. *Zhizn' Zemli* [Life of the Earth], 2015, vol. 37, pp. 62–84.
8. Gorshkov S. P. *Uchenie o biosfere. Vvedenie* [The doctrine of the biosphere. Introduction]. Moscow, Faculty of Geography, Moscow State University Publ., 2007. 118 p.

9. Zaitseva I. S. [The role of natural factors in anthropogenic changes in the water resources of small rivers of the Russian plain]. In: *Voprosy geografii. Vyp. 118. Malye reki* [Geography issues. Issue 118. Small rivers]. Moscow, Mysl', 1981, pp. 93–97.
10. Isachenko A. G. *Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe raionirovanie* [Landscape studies and physical-geographical zoning]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1991. 365 p.
11. Kichigin A. N. [Causes of degradation of small river channels in the Vologda region]. In: *Geomorfologiya* [Geomorphology], 1992, no. 1, pp. 56–61.
12. Komlev A. M. *Zakonomernosti formirovaniya i metody raschetov rechnogo stoka* [Formation patterns and methods for calculating river runoff]. Perm', Perm' State University Publ., 2002. 162 p.
13. Koronkevich N. I., Zaitseva I. S., Yasinskii S. V. [Water regulating role of forests and problems of small rivers]. In: *Lesnaya promyshlennost'* [Forest industry], 1997, no. 1, pp. 28–29.
14. Butakov G. P., Dedkov A. P., Kichigin A. N., Mozzherin V. I., Golosov V. N., Sidorchuk A. Yu., Chernov A. V. [Small rivers as the most vulnerable link in the river network]. In: *Erozionnye i ruslovye processy. Vyp. 2. Materialy koordinacionnyh soveshchanij vuzov, 1991–1995*. Moscow, Moscow State University Publ., 1996, pp. 56–70.
15. Matveev N. P. [The state of floodplains of small rivers of the Moscow region, their use and protection]. In: *Malye reki centra Russkoj ravniny, ih ispol'zovanie i ohrana : sb. st.* [Small rivers of the center of the Russian plain, their use and protection: collection of articles]. Moscow, 1988, pp. 61–70.
16. Nikolaev V. A. *Landshaftovedenie: seminarskie i prakticheskie zanyatiya* [Landscape studies: seminars and workshops]. Moscow, Faculty of Geography, Moscow State University Publ., 2006. 208 s.
17. Rokhmistrov V. L. *Malye reki Yaroslavskogo Povolzh'ya* [Small rivers of the Yaroslavl Volga region]. Yaroslavl', 2004. 54 p.
18. Tkachev V. P., Bulatov V. I. *Malye reki: sovremennoe sostoyanie i ekologicheskie problem* [Small rivers: current state and environmental problems]. Novosibirsk, State Public Scientific and Technical Library Publ., 2002. 113 s.
19. Butakov G. P., Ermolaev O. P., Mozzherin V. I. et al. [Forms of manifestation of erosion-accumulative processes in small river catchments]. In: *Erozionnye i ruslovye process* [Erosional and channel processes]. Luck, 1991, pp. 19–42.
20. Chernov A V. [Modern development of small rivers in the central regions of the European part of the USSR]. In: Matveev N. P., ed. *Malye reki centra Russkoi ravniny, ikh ispol'zovanie i okhrana: sb. st.* [Small rivers of the center of the Russian plain, their use and protection: collection of articles]. Moscow, Moscow Branch of the Geographical Society Publ., 1988, pp. 15–24.
21. Yasinskii S.V. [Modern hydroecological state of small lowland rivers]. In: *Voprosy geografii. Vyp. 133. Geografo-gidrologicheskie issledovaniya* [Problems of geography. Issue 133. Geographic and hydrological research]. Moscow, ID Kodeks Publ., 2012, pp. 394–406.
22. Bell C. D., Wolfand J. M., Panos C. L., et al. Stormwater control impacts on runoff volume and peak flow: A meta-analysis of watershed modelling studies. In: *Hydrological Processes,* 2020, vol. 34, iss. 14, pp. 3134–3152.
23. Eckart K., McPhee Z., Bolisetti T. Performance and implementation of low impact development. In: *Science of The Total Environment*, 2017, vol. 607–608, pp. 413–432.
24. Hagans D. K., Weaver W. E., Madej M. A. Long-term on-site and off-site effects of logging and erosion in the Redwood Creek basin, Northern California. In: *Papers presented at the American Geophysical Union Meeting on Cumulative Effects. NCASI Technical Bulletin*, 1986, no. 490, pp. 38–66.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Бортновский Захар Васильевич – магистр экологии и природопользования, соискатель кафедры экологии и наук о Земле факультета естественных и инженерных наук Государственного университета "Дубна";
e-mail: zakhar.rus@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Zakhar V. Bortnovsky – master in ecology and nature management, extern of ecology and Earth science department, faculty of natural and engineering science, Dubna State University;
e-mail: zakhar.rus@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА

Бортновский З. В. Водный сток как индикатор ландшафтно-экологических условий бассейнов малых рек // Географическая среда и живые системы. 2021. № 1. С. 42–52.
DOI: 10.18384/2712-7621-2021-1-42-52

FOR CITATION

Bortnovsky Z. V. Runoff as an indicator of landscape-ecological conditions in basins of small rivers. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2021, no. 1, pp. 42–52.
DOI: 10.18384/2712-7621-2021-1-42-52