

# Региональные проблемы изучения и охраны природы

---

УДК 556.5:556.16(470.12)

DOI: 10.18384/2310-7189-2019-1-44-52

## **ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА МАЛЫХ РЕК (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОТАЕЖНОГО РАЙОНА ВОЛОГОДСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ)**

**Бортновский З. В.**

*независимый исследователь*

*160000, г. Вологда, Российская Федерация*

**Аннотация.** Проведен анализ климатических, геолого-геоморфологических и почвенно-растительных факторов формирования стока на примере водосборов двух малых рек в бассейне р. Северная Двина: р. Ема и р. Большая Ельма, расположенных в подзоне южной тайги. Показано влияние данных факторов на динамику внутригодового распределения водного стока применительно к двум временным интервалам 1980-х и 2010-х гг. Исследование выполнено с привлечением архивной гидрометеорологической информации и мультиспектральных данных дистанционного зондирования Земли, использованных для анализа состояния ландшафтного покрова водосборов и его динамики с течением времени. Показано, что различия внутригодового распределения стока обусловлены преимущественно структурой ландшафтного покрова, соотношением различных типов лесов на водосборах; общие тенденции в динамике внутригодового стока рассмотренных рек согласуются с изменениями климатических характеристик района исследования.

**Ключевые слова:** ландшафтно-гидрологическая система, речной сток, внутригодовое распределение стока, гидрологическая роль леса, малая река, Вологодская область.

## **IMPACT OF LANDSCAPE-GEOGRAPHICAL FACTORS ON THE INTRA-ANNUAL RUNOFF DYNAMICS OF SMALL RIVERS (ON THE EXAMPLE OF SOUTHERN TAIGA, VOLOGDA UPLAND AREA)**

**Z. Bortnovsky**

*Independent researcher*

*Vologda 160000, Russian Federation*

**Abstract.** The paper analyzes climatic, geological, geomorphological, and soil-vegetative factors of river flow formation for two small rivers in the Northern Dvina river basin, located in the

---

© CC BY Бортновский З. В., 2019.

southern taiga subzone. The impact of these factors on the dynamics of the intra-annual runoff in relation to the two time intervals of the 1980s and 2010s is shown. The study was performed by using archival hydrometeorological data and remote sensing multispectral data of the Earth. The data obtained were used to analyze the state of the land cover of the basins and its dynamics over time. It was shown that the differences in the intra-annual distributions of runoff are mainly due to the structure of the landscape cover and the ratio of different types of forests in the river basins; general trends in the dynamics of the intra-annual runoff of the rivers in question are consistent with the changes in the climatic characteristics of the region under study.

**Keywords:** landscape-hydrological systems, river runoff, intra-annual runoff, river flow formation factors, hydrological role of forest, small rivers, Vologda region.

### Введение

Речной сток является одним из основополагающих физико-географических и геологических процессов, базовым звеном транспорта вещества и энергии в окружающей среде. Его специфика также определяет гидрологический режим водных объектов. Внутригодовое распределение речного стока является его регулярной вариацией, особенностью которой определяются совокупностью разнообразных стокоформирующих факторов. Анализ их влияния расширяет возможности по моделированию динамики речного стока при антропогенном воздействии и в условиях климатической нестабильности, а также предоставляет возможности для разработки адаптационных стратегий не только на глобальном и национальном [5], но и региональном уровне.

Динамика внутригодового распределения стока является предметом исследования на уровне крупных речных бассейнов [8], однако не менее актуален ее анализ для малых рек – важнейших элементов гидрологической сети суши.

### Материалы и методы

Для проведения исследования были выбраны водосборы<sup>1</sup> двух ма-

<sup>1</sup> Здесь и далее водосборы принимаются совпадающими с бассейнами.

лых рек: р. Ема и р. Большая Ельма. Оба водосбора относятся к бассейну р. Северная Двина и располагаются в подзоне южной тайги на территории Вологодской области (рис. 1). Выбор обозначенных объектов обусловлен их относительной пространственной близостью, определяющей сходство ландшафтно-гидрологических особенностей на зональном уровне, а также наличием рядов данных по стоку и метеорологической информации.

Оценка стока проводилась для замыкающих створов – гидрологических постов Новое на р. Ема (расчетная площадь водосбора 185 кв. км) и Филютино на р. Большая Ельма (расчетная площадь водосбора 310 кв. км). Использовались ежемесячные данные о стоке, температуре и осадкам за два пятилетних периода 1981–1985 гг. и 2010–2014 гг. Интервал задан с целью сглаживания колебаний отдельных лет.

Границы водосборов были установлены с использованием ПО QGIS/GRASS по данным цифровой модели рельефа SRTM в полуавтоматическом режиме с последующей проверкой и уточнением по подложкам топографических карт.

Для анализа состояния ландшафтного покрова водосборов в указанные периоды времени использовались

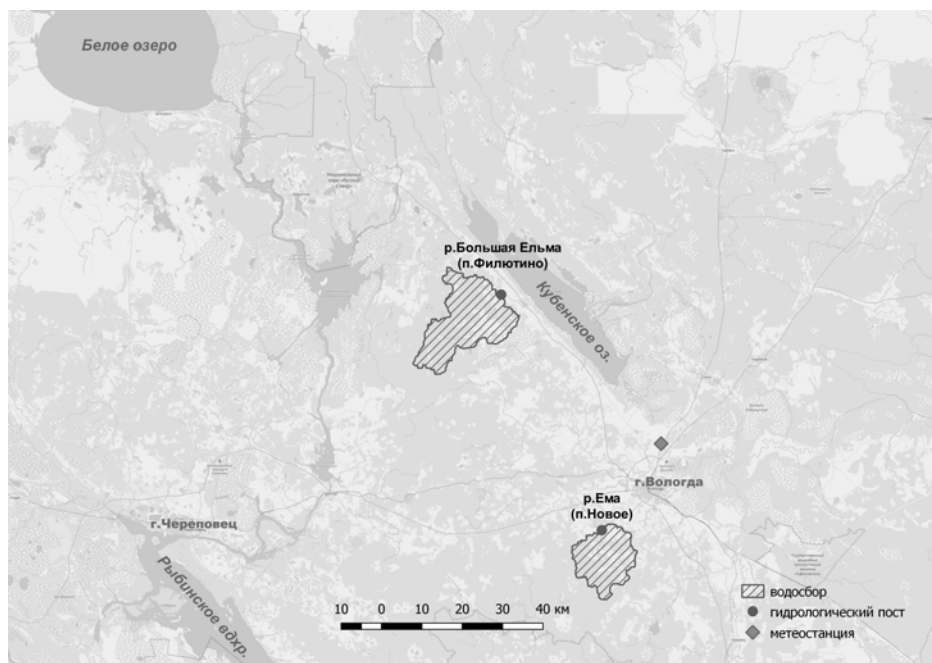


Рис. 1. Расположение исследуемых водосборов

мультиспектральные космоснимки со спутников Landsat 5TM (за 1985 г.) и Landsat 8OLI/TIRS (за 2014 г.), отобранные в каталоге USGS Earthexplorer<sup>1</sup>. Обработка снимков производилась в среде QGIS с помощью модуля SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) с использованием управляемой классификации (классификации с обучением) по методу максимального правдоподобия (maximum likelihood). При проведении классификации использовались материалы общедоступных картографических сервисов, а также полевых исследований с участием автора, включавших маршруты в рассматриваемом районе с выделением ряда опорных точек, использованных при формировании обучающей выборки.

<sup>1</sup> Каталог доступен на сайте Геологической службы США (URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>).

### Анализ стокоформирующих факторов и динамики внутригодового стока

Среди основополагающих факторов формирования речного стока выделяют [3, с. 8; 1, с. 22]: климатические, занимающие ведущее положение в формировании рек и их режима; факторы подстилающей поверхности, включая геолого-геоморфологические условия и почвенно-растительный покров; хозяйственную деятельность человека. Отметим, что относительно интервала между заданными периодами времени только геолого-геоморфологические условия можно считать статическими, остальные следует рассматривать с учетом динамики.

По базовому стокоформирующему фактору (климатическому) сходство выбранных водосборов обеспечивает их относительная пространственная

близость. Для оценки динамики климата использовались данные наблюдений по метеостанции Вологда, расположенной в 30–60 км от расчетных

центроидов водосборов. На рис. 2 показаны климатограммы, рассчитанные по усредненным значениям 1981–1985 гг. и 2010–2014 гг.

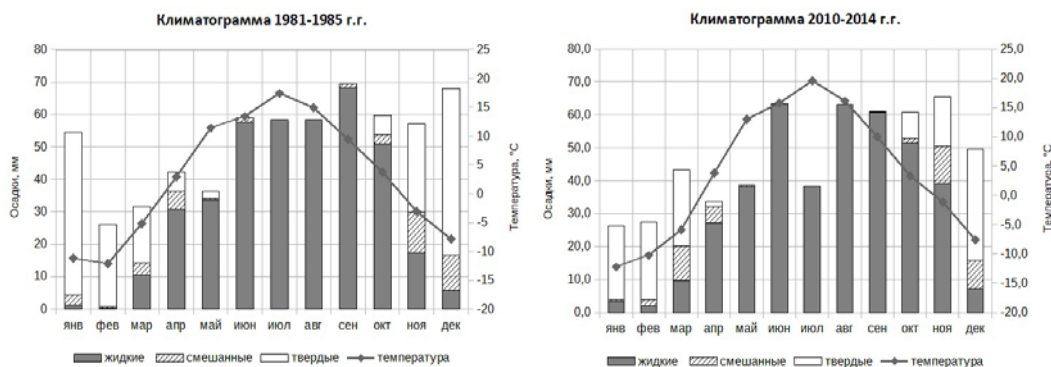


Рис. 2. Климатограммы метеостанции Вологда

Общие особенности изменения климатических характеристик выражаются снижением суммы осадков с 620 до 571 мм (преимущественно за счет сокращения доли осадков в твердой фазе, со 185 до 128 мм), а также ростом среднегодовой температуры с 2,8°C до 3,7°C. Частная характеристика в связи со стоком рассматривается далее.

Литолого-геоморфологическая специфика исследуемой территории определена ледниковыми процессами. На водосборе р. Ема распространены пологоволнистые, пологохолмистые равнины, сформированные основной мореной московского оледенения. Им сопутствуют участки плоских равнин озерно-ледникового генезиса. Водосбор р. Большая Ельма расположен в пограничной зоне валдайского оледенения. Здесь преобладают полого- и мелкохолмистые равнины, сформированные основной мореной московского и валдайского оледенений, с фрагментами пограничного холми-

сто-грядового конечно-моренного рельефа<sup>1</sup>. Основные морфометрические показатели водосборов, определенные по цифровой модели рельефа ALOS (более новые данные относительно SRTM), представлены в табл. 1. Эти данные указывают на общее геоморфологическое сходство водосборов: близкие значения средней абсолютной высоты и вертикального расчленения рельефа.

Литологические особенности водосборов находятся в тесной связи с генезисом рельефа. Морена образована суглинками (краевая – валунными суглинками) с гравием, галькой. Лимногляциальные отложения характеризуются пестрым литологическим составом. Бассейн р. Ема целиком относится к району распространения покровных суглинков и супесей, в бассейне р. Большая Ельма они занимают

<sup>1</sup> Использован ист.: Государственная геологическая карта РФ М 1:1000000 (третье поколение). Карта четвертичных образований, О-37 (Ярославль). СПб.: ВСЕГЕИ, 2016.

Таблица 1

## Морфометрические характеристики водосборов

Водосбор	Высота				
	Минимальная	Максимальная	Относительная	Средняя	Стандартное отклонение
Большая Ельма	120	213	93	168	20
Ема	151	235	84	190	16

менее половины территории. Мощность чехла четвертичных отложений экспериментально установлена только на водосборе р. Большая Ельма и составляет 50–70 м<sup>1</sup>. Почвенный покров в бассейне р. Ема представлен дерново-подзолистыми, дерново-подзолисто-глеевыми почвами. На водосборе р. Большая Ельма преобладают дерново-карбонатные почвы<sup>2</sup>.

При анализе данных о состоянии и динамике ландшафтного покрова водосборов исследовалось не только соотношение на водосборе «лесных/нелесных» земель, позволяющее определить классический коэффициент лесистости, но и дифференциация лесов по типам, а именно: преимущественно темнохвойные (с преобладанием ели); смешанные; преимущественно мелколиственные (с преобладанием березы, ольхи, осины). Вместе с тем следует отметить, что точность количественных оценок долей лесов различного породного состава в целом несколько ниже, чем точность оценок долей

<sup>1</sup> Использован ист.: Государственная геологическая карта РФ М 1:1000000 (третье поколение). Карта четвертичных образований, О-37 (Ярославль). СПб.: ВСЕГЕИ, 2016.

<sup>2</sup> Использован ист.: Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2014. Размещен в федеральной геоинформационной системе «Атлас земель сельскохозяйственного назначения» (URL: <http://atlas.mcx.ru/materials/egrpr/content/1DB.html>).

обобщенных категорий «лесных» и «нелесных» земель. Это обусловлено менее четкими границами между различными типами леса, в том числе по спектральным характеристикам, чем между «лесными» и «нелесными» землями. Данные о ландшафтном покрове водосборов обобщены в табл. 2.

При оценке динамики стока был осуществлен предварительный переход от абсолютных значений стока, выраженных в куб. м/сек, к относительным, выраженным долей каждого месяца в общегодовом стоке, принятом за 100%. Это позволяет сопоставлять внутригодовое распределение стока рек с неодинаковой водоносностью. Графики относительного внутригодового распределения стока, рассчитанные по усредненным значениям 1981–1985 гг. и 2010–2014 гг., представлены на рис. 3.

Сравнивая внутригодовое распределение стока за период 1981–1985 гг., следует отметить, что наблюдаемые вариации с наибольшей вероятностью определяются факторами подстилающей поверхности. Так, большой сток весеннего половодья на р. Еме согласуется с несколько большей сельскохозяйственной освоенностью водосбора. Однако этот фактор не коррелирует с различиями осеннего паводка. Повышается вероятность влияния различных типов леса, в частности по породному составу. В связи с этим отметим,

Таблица 2

**Ландшафтный покров водосборов по данным дистанционного зондирования, %\***

Таксон/Водосбор	р. Большая Ельма		р. Ема	
	1985 г.	2014 г.	1985 г.	2014 г.
Леса в т. ч.:	71	72	67	70
<i>преимущественно     темнохвойные</i>	2	1	7	6
<i>смешанные</i>	17	31	29	40
<i>преимущественно     мелколиственные</i>	50	38	31	24
<i>Заболоченные</i>	2	2	-	-
Зарастающие вырубки	-	2	-	-
Болота	1	1	-	-
Сельхозугодья	28	25	34	31

\* Сумма долей может незначительно отличаться от 100% ввиду округления

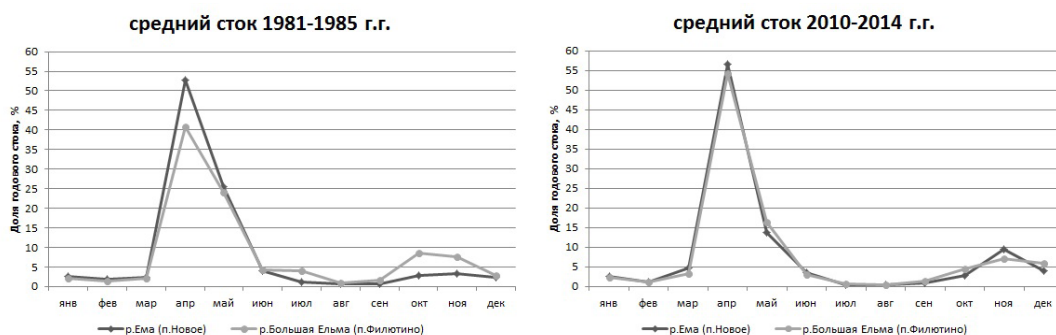


Рис. 3. Относительный внутригодовой сток рек Ема и Большая Ельма

что к числу важных факторов, определяющих весеннее половодье, относится величина снеготаяния [1, с. 23; 7]. При этом имеются данные о большем задержании осадков хвойными древостоями в целом [6, с. 59], а также, в частности, о больших снеготаяниях под пологом мелколиственного леса относительно темнохвойного [2, с. 24, 58; 4, с. 81–82]. Большое снеготаяние снижает промерзание почвы [2, с. 24, с. 58], что, в свою очередь, в период снеготаяния уменьшает при про-

чих равных условиях поверхностный сброс талых вод по отношению к процессу их инфильтрации в почвогрунты. Этот механизм согласуется с большей долей мелколиственных лесов на водосборе р. Большая Ельма.

Влияние породного состава также отвечает различиям стока в период осеннего паводка (принимая режим осадков сходным): так, преобладающие на водосборе р. Большая Ельма мелколиственные леса в октябре активно сбрасывают листву, что понижа-

ет их водорегулирующую способность. Причины различий стока в июне, по-видимому, также связаны с особенностями подстилающей поверхности. Возможно влияние специфики сельскохозяйственного использования земель, а именно соотношения сельхозугодий с различной интенсивностью вегетации как фактора испарения, и динамики этого соотношения внутри вегетационного периода.

Различия гидрографов за период 2010–2014 гг. по сравнению с периодом 1981–1985 гг. сглажены, особенно в период весеннего половодья. При этом за прошедшее время произошло перераспределение доли разных типов лесов на водосборе. Так, хотя доля лиственных лесов снизилась для обоих водосборов (при повышении доли смешанных – как следствие сукцессионных процессов), но для бассейна р. Большая Ельма это выражено сильнее (с 50% до 38%), чем для бассейна р. Ема (с 31% до 24%). Таким образом, неравномерность соотношения между различными типами лесов на водосборах снизилась, при сходном общем коэффициенте лесистости.

При рассмотрении общей динамики внутригодового распределения стока во времени обращает внимание ряд сходных для обеих рек тенденций. Прежде всего это увеличение «резкости» половодья, выражающееся в увеличении доли стока в апреле (с 41% до 54% для р. Большая Ельма, с 53% до 57% для р. Ема) и сокращении ее в мае (с 24% до 16% для р. Большая Ельма, с 25% до 14% для р. Ема), а также «смещение» паводка с середины на позднюю осень. Кроме того, снизилась доля стока летней межени в июле-августе (с 5% до 1% для р. Большая Ельма, с 2%

до 1% для р. Ема). Наиболее вероятно, что ведущая причина этих тенденций – динамика основных климатических характеристик. Так, в 2010–2014 гг. по сравнению с периодом 1981–1985 гг. значительно снизились осадки в январе (с 54 до 26 мм – более чем в 2 раза) и декабре (с 68 до 50 мм – на 1/3). Это обуславливает сокращение снеготопливных запасов, что, с усилением промерзания, увеличивает поверхностный сток талых вод. Также, как фактор влияния на фазу половодья, отметим более быстрый рост температуры в марте-апреле (увеличение межмесячной амплитуды на 1,6°C). «Смещение» сроков осеннего паводка происходит на фоне более чем двукратного (с 17 до 39 мм) увеличения количества осадков в жидкой фазе в ноябре при росте средней температуры в этом месяце на 1,9°C. Снижение стока периода летней межени согласуется со снижением осадков в июле (с 58 до 38 мм).

### Заключение

Опыт анализа ландшафтно-гидрологических факторов в части их связи с внутригодовым распределением стока и его динамикой позволил сделать следующие выводы:

1. В условиях одновременного сравнения рассмотренных водосборов (т. е. статистики климатического фактора), специфика внутригодового стока в значительной степени определяется особенностями их растительного покрова, в том числе соотношением долей лесов различного породного состава: преимущественно темнохвойных, смешанных, преимущественно мелколиственных. Это наиболее отчетливо проявилось в период половодья и согласуется с литературными данными о влиянии породного состава лесов на

снегозапасы и глубину промерзания почвенного покрова.

2. Динамика внутригодового стока во времени согласуется с динамикой основных погодно-климатических характеристик. Для рассмотренных водосборов это выражается общим трендом к увеличению «резкости» стока весеннего половодья, «смещением» фазы

осеннего паводка с середины на позднюю осень, что согласуется с уменьшением доли зимних осадков, увеличением доли жидких осадков в предзимний период на фоне преимущественного роста внутригодовых среднемесячных значений температуры воздуха.

Статья поступила в редакцию 17.12.2018

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров А. М. Факторы, определяющие возникновение экстремальных расходов и уровней воды половодья // Учёные записки РГГМУ. 2009. № 9. С. 22–39.
2. Гидрологическая роль лесных геосистем / Отв. ред. В. А. Снытко. Новосибирск: Наука, 1989. 164 с.
3. Комлев А. М. Закономерности формирования и методы расчетов речного стока. Пермь: Перм. ун-т, 2002. 162 с.
4. Крестовский О. И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 116 с.
5. Медведков А. А. Адаптация к климатическим изменениям: глобальный эколого-экономический тренд и его значение для России // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2018. № 4. С. 11–19. DOI: 10.18384/2310-7189-2018-4-11-19
6. Фролова Н. Л. Гидрология рек. Антропогенные изменения речного стока. М.: Юрайт, 2016. 113 с.
7. Фролова Н. Л. О половодье 2018 г. на реке Протве [электронный ресурс] // Географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова: [сайт]. URL: [http://www.geogr.msu.ru/news/news\\_detail.php?ID=12908](http://www.geogr.msu.ru/news/news_detail.php?ID=12908) (дата обращения: 07.02.2019).
8. Фролова Н. Л., Киреева М. Б., Агафонова С. А., и др. Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории и его изменение // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 4. С. 4–20.

#### REFERENCES

1. Vladimirov A. M. [Factors determining the occurrence of extreme costs and water levels of floods]. In: *Uchenye zapiski RGGMU*, 2009, no. 9, pp. 22–39.
2. *Gidrologicheskaya rol' lesnykh geosistem. Otv. red. V. A. Snytko* [Hydrological role of forest geosystems. Ed. by V. A. Snytko]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1989. 164 p.
3. Komlev A. M. *Zakonomernosti formirovaniya i metody raschetov rechnogo stoka* [Regularities of formation and methods of calculation of runoff]. Perm, Perm University Publ., 2002. 162 p.
4. Krestovskii O. I. *Vliyanie vyrubok i vosstanovleniya lesov na vodnost' rek* [The influence of deforestation and reforestation on river waters]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986. 116 p.
5. Medvedkov A. A. [Adaptation to climate change: a global ecological-economic trend and its significance for Russia]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2018, no. 4, pp. 11–19. DOI: 10.18384/2310-7189-2018-4-11-19.
6. Frolova N. L. *Gidrologiya rek. Antropogennye izmeneniya rechnogo stoka* [Hydrology of the rivers. Anthropogenic changes of river flow]. Moscow, Yurait Publ., 2016. 113 p.



7. Frolova N. L. [On the flood, 2018 on Protva river]. In: *Geograficheskii fakul'tet MGU im. M. V. Lomonsova* [Geographical faculty, Moscow state University. M. V. Lomonsov]. Available at: [http://www.geogr.msu.ru/news/news\\_detail.php?ID=12908](http://www.geogr.msu.ru/news/news_detail.php?ID=12908) (accessed: 07.02.2019)
8. Frolova N. L., Kireeva M. B., Agafonova S. A., et al. Seasonal distribution of runoff of plain rivers of the European territory and its evolution]. In: *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*, 2015, no. 4, pp. 4–20.

---

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Бортновский Захар Васильевич* – магистр экологии и природопользования, независимый исследователь;

e-mail: zakhar.rus@mail.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Bortnovsky Zakhar* – master in ecology and nature management, independent researcher;

e-mail: zakhar.rus@mail.ru

---

#### ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Бортновский З. В. Влияние ландшафтно-географических факторов на динамику внутригодового распределения стока малых рек (на примере южнотаежного района Вологодской возвышенности) // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2019. № 1. С. 44–52.

DOI: 10.18384/2310-7189-2019-1-44-52

#### FOR CITATION

Bortnovsky Z. Impact of Landscape-Geographical Factors on the Intra-Annual Runoff Dynamics of Small Rivers (on the Example of Southern Taiga, Vologda Upland Area). In: *Bulletin of the Moscow Regional State University, Series: Natural Sciences*, 2019, no. 1, pp. 44–52.

DOI: 10.18384/2310-7189-2019-1-44-52