

УДК 556.53

DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-126-133

## РАСЧЕТ КРИВЫХ СПАДА ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИЕЙ НА РЕКАХ СЕВЕРНОГО ПРИОХОТОМОРЬЯ

**Ушаков М. В.**

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт имени Н. А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук  
685000, г. Магадан, ул. Портовая, д. 16, Российская Федерация

### Аннотация.

**Цель.** Разработка формул прогноза (расчета) ежедневных расходов воды в период спада дождевого паводка на реках Северного Приохотоморья.

**Процедура и методы исследования.** По девяти гидрологическим постам были вычислены осредненные кривые спада паводков в относительных ординатах. Затем проводилась аналитическая аппроксимация этих кривых и отыскивались связи параметров уравнений кривых с различными гидрологическими и морфометрическими характеристиками рассматриваемых водосборов.

**Результаты исследования.** Кривые спада хорошо аппроксимируются степенной функцией. Предложен показатель «относительная глубина летней межени», который связан со степенью редукции стока. Получены районные формулы для вычисления гидрографа стока на спаде дождевых паводков. На примере дождевого паводка редкой повторяемости показано, что средняя относительная ошибка для изученной реки составляет 8,4%, а для неизученной – 16,8%.

**Теоретическая и практическая значимость.** Методика расчетов будет полезна гидрологам-прогнозидам и специалистам, проводящим инженерно-гидрометеорологические изыскания.

**Ключевые слова:** дождевой паводок, речной сток, водосбор, гидрограф, гидрологический прогноз, Магаданская область

## CALCULATION OF THE CURVES OF DECAY OF RAIN FLOWS ON THE RIVERS OF THE NORTHERN COAST OF THE SEA OF OKHOTSK

**M. Ushakov**

N.A. Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute,  
Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences  
16 ul. Portovaya, 685000 Magadan, Russian Federation

### Abstract.

**Purpose.** We have derived formulas for the prediction (calculation) of daily water discharges during the period of rainfall floods on the rivers of the Northern coast of the Sea of Okhotsk.

**Methodology and Approach.** Averaged flood decay curves in relative ordinates have been calculated for nine hydrological posts. Then, an analytical approximation of these curves has been carried out, and relationships between the parameters of the equations of the curves and various hydrological and morphometric characteristics of the watersheds under consideration have been found. All calculations and graphical constructions have been performed using Microsoft Excel.

**Results.** Recession curves are well approximated by a power function. The indicator of “relative depth of the summer low water” is proposed, which is associated with the degree of flow reduction. District formulas for calculating the hydrograph of runoff during the rainfall decline have been obtained. Using an example of a flash flood of rare frequency it is shown that for the studied river the average relative error is 8.4%, and for the unexplored one it is 16.8%.

**Theoretical and Practical implications.** This technique will be useful for hydrologists-forecasters and specialists conducting engineering-hydrometeorological surveys.

**Keywords:** rain flood, hydrograph, water discharge, power function

### Введение

При оперативном планировании спасательных и аварийно-восстановительных работ необходимы прогнозы кривых спада дождевых паводков<sup>1</sup>. Кроме того, при проведении инженерно-гидрометеорологических изысканий для строительства иногда требуется расчет гидрографов паводков редкой повторяемости<sup>2</sup>.

В работе ставится цель получить формулы для прогноза (расчета) ежедневных расходов воды в период спада дождевого паводка на реках Северного Приохотоморья. Анализ закономерностей истощения осенне-зимнего стока на реках рассматриваемого района посвящена работа [5], а вот численный анализ кривых спада паводков еще никто не проводил.

Необходимо заметить, что в гидрологическом отношении рассматриваемая территория слабо изучена [6]. Рассматриваемый район расположен на Северо-Востоке России. В данной работе под Северным Приохотоморьем понимается территория бассейнов рек Охотского моря от водосбора р. Гижиги с востока до бассейна р. Тауя. Характерной особенностью Северного Приохотоморья является субарктический и морской климат<sup>3</sup> [4], прерывистое распространение многолетней мерзлоты [1; 7]. Лесной ландшафт на горных хребтах и нагорьях сменяется

тундрой, каменистыми пустынями (гольцами) [3].

Внутри года речной сток распределен неравномерно. В теплую часть года (май-октябрь) протекает основная масса воды (94–99%)<sup>4</sup>. На спад половодья нередко накладываются дождевые паводки. Дождевые паводки проходят в период середина июня – сентябрь.

Минимальные расходы воды за период открытого русла наблюдаются в преимущественно во второй половине лета и перед появлением осенних ледовых явлений. Продолжительность летних межженных периодов, как правило, незначительна. Зимняя межень наблюдается со второй половины октября до начала мая.

### Материалы и методы

В работе использованы данные наблюдений за стоком на девяти гидрологических постах Колымского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (табл. 1), которые опубликованы в Гидрологических ежегодниках Государственного водного кадастра.

Для каждого пункта наблюдений были выбраны шесть дождевых паводков различной водности, и по ним вычислены осредненные кривые спада в относительных ординатах:

$$Q_t / Q_1 = f(t) \quad (1)$$

где:  $Q_1$  – суточный расход воды в день прохождения пика паводка;  $t$  – номер

<sup>1</sup> Методические рекомендации по организации деятельности оперативных штабов ликвидации чрезвычайных ситуаций и оперативных групп территориальных органов МЧС России, местных гарнизонов пожарной охраны. М.: МЧС России, 2013. 57 с.

<sup>2</sup> Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. М.: Госстрой России, 2004. 30 с.

<sup>3</sup> Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Вып. 33. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 566 с.

<sup>4</sup> Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. Л.: Гидрометеоздат, 1969. 282 с.

Таблица 1

## Характеристики гидрологических постов

Table 1

## Characteristics of hydrological posts

Река – пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Относительная глубина летней межени	Степень редукции <i>a</i> в уравнении (2)
Гижига – 20 км от устья	11700	1,86	0,62
Дукча – устье	330	2,29	0,62
Магаданка – г. Магадан	48,5	1,79	0,65
Каменушка – в 3,3 км выше плотины	58,8	1,68	0,42
Солнечный – устье	3,57	1,36	0,37
Хасын – п. Хасын	682	1,99	0,79
Уптар – п. Уптар	265	1,76	0,7
Тауй – п. Талон	25100	2,09	0,57
Армань – у моста	7770	2,65	1,02

Источник: данные автора

дня, начиная со дня прохождения пика паводка.

Анализ гидрографов в относительных ординатах широко используется в практике гидрологических прогнозов [2]. Затем проводилась аналитическая аппроксимация осредненных кривых спада и отыскивались связи параметров уравнений кривых с различными гидрологическими и морфометрическими характеристиками рассматриваемых водосборов. Все расчеты и графические построения выполнялись при помощи табличного редактора *Microsoft Excel*. Проверка полученного уравнения производилась на независимом материале.

#### Районные формулы и их верификация

Кривые спада дождевых паводков хорошо описываются степенной функцией:

$$Q_t = Q_1 t^{-a}, \quad (2)$$

где: *a* – степень редукции стока; остальные символы те же, что и в (1).

Были сделаны попытки связать параметр *a* с известными гидрологическими и морфометрическими характеристиками рассматриваемых водосборов. Но связи были недостаточно тесными.

Предлагается показатель «относительная глубина летней межени» (ОГЛМ):

$$D = Q_g / Q_m, \quad (3)$$

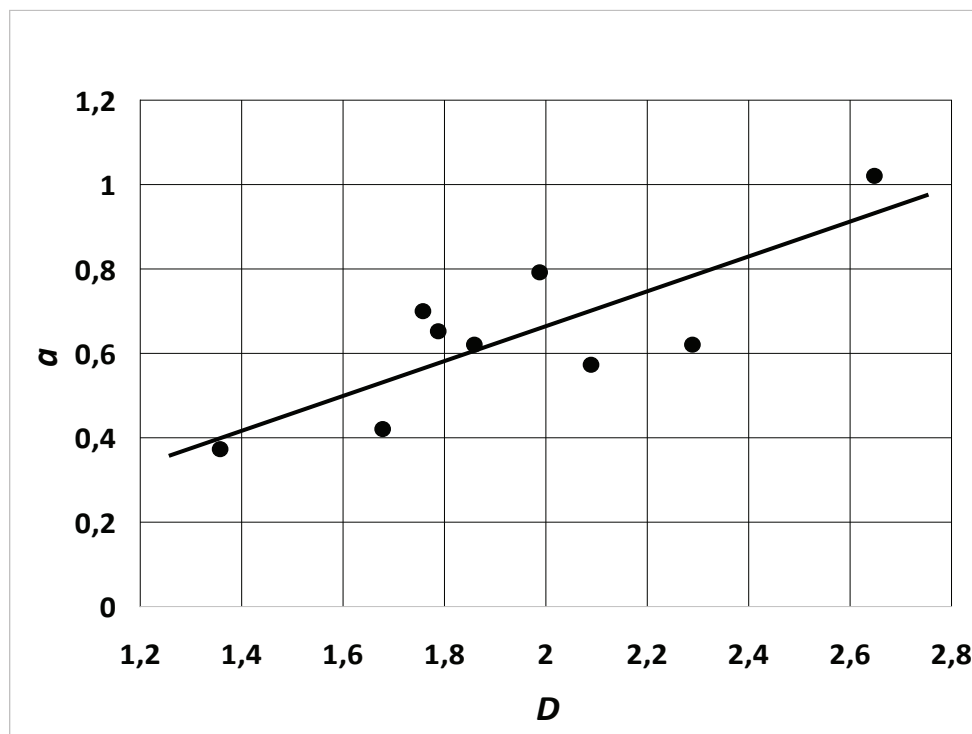
где:  $Q_g$  – среднееголетний годовой расход воды ( $m^3/c$ );  $Q_m$  – минимальный 30-суточный расход воды в летне-осенний период обеспеченностью 80% ( $m^3/c$ ).

В работе [5] аналогично был введен показатель «относительная глубина зимней межени».

Параметр *a* хорошо связан с ОГЛМ (рис. 1):

$$a = 0,415D - 0,165, \quad r = 0,80 \quad (4)$$

Судя по рис. 1, можно сказать, что чем больше ОГЛМ, тем интенсивнее идет спад паводков.



Источник: составлено автором

Рис. 1. Связь степени редукции  $a$  в уравнении (2) с показателем ОГЛМ  $D$

Fig. 1. Relationship of the degree of reduction  $a$  in equation (2) with the OHLM index  $D$

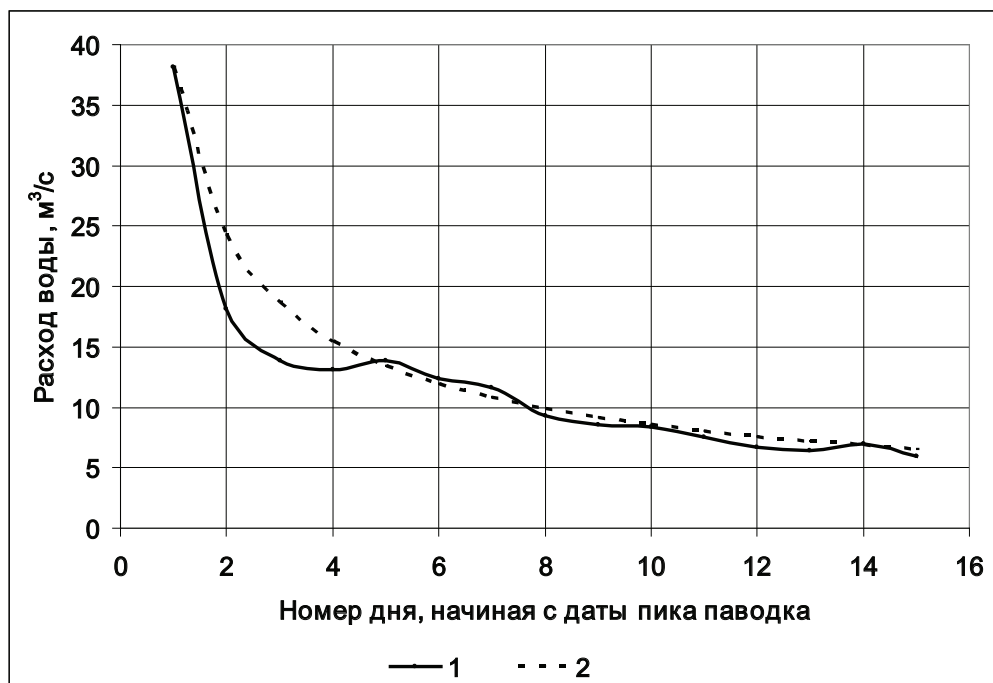
Учитывая уравнения (3), (4) формула (2) примет вид:

$$Q_t = Q_1 t^{0,165 - (0,415 Q_g / Q_m)} \quad (5)$$

По этой формуле можно рассчитывать кривые спада дождевого паводка на реках Северного Приохотоморья, в том числе и на неизученных створах. Адекватность предложенной формулы проверялась на катастрофическом дождевом паводке, который прошел в г. Магадане в 2014 г.<sup>1</sup> При выводе формулы этот паводок не использовался, специально оставлен для проверки на независимом материале.

Пост р. Магаданка – г. Магадан изучен, и для него известна степень редукции  $a$  (см. табл. 1), поэтому для прогноза (расчета) используем формулу (2). На рис. 2 и в табл. 2 видно, что эта формула отлично работает, средняя относительная ошибка составила 8,4%.

<sup>1</sup> Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, 2014 г. Том I. Вып. 17. Ч. 1. Магадан: Колымское УГМС, 2015. 186 с.



Источник: составлено автором

Рис. 2. Наблюдаемые (1) и рассчитанные (2) кривые спада дождевого паводка на р. Магаданке у г. Магадана в 2014 г.

Fig. 2. (1) Observed and (2) calculated curves of the rain flood decline on the Magadanka river near Magadan in 2014

Таблица 2

**Точность предвычисления ежедневных расходов воды на спаде дождевого паводка на р. Магаданке у г. Магадана в 2014 г.**

Table 2

**Accuracy of prediction of daily water discharges during the rainfall flood on the Magadanka river near Magadan in 2014**

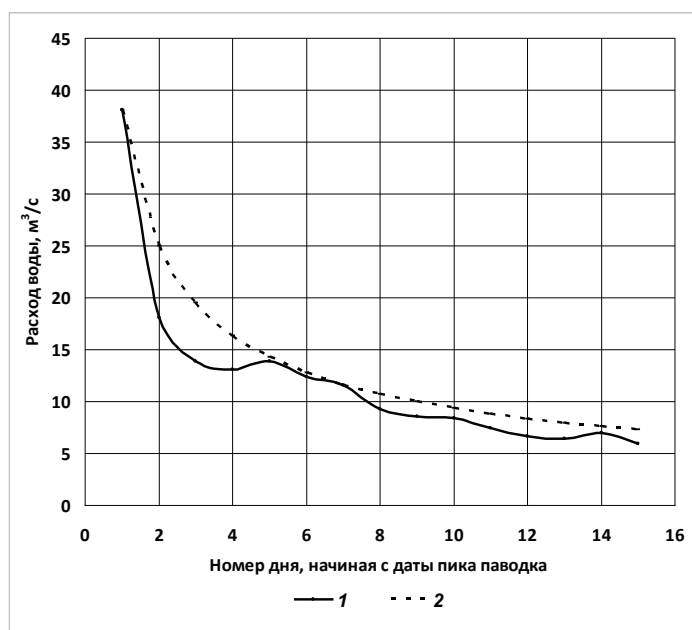
Номер дня, начиная со дня прохождения пика паводка	Наблюденный расход воды, м³/с	Расчитанный расход воды, м³/с	Ошибка, м³/с	Относительная ошибка
1	38,1	38,1	0,0	0,0
2	18,1	24,3	6,2	34,1
3	13,9	18,7	4,8	34,
4	13,1	15,5	2,4	18,1
5	13,9	13,4	-0,5	-3,7
6	12,4	11,9	-0,5	-4,1
7	11,6	10,8	-0,8	-7,3
8	9,30	9,86	0,6	6,0
9	8,55	9,13	0,6	6,8

Номер дня, начиная со дня прохождения пика паводка	Наблюденный расход воды, м <sup>3</sup> /с	Рассчитанный расход воды, м <sup>3</sup> /с	Ошибка, м <sup>3</sup> /с	Относительная ошибка
10	8,40	8,53	0,1	1,5
11	7,50	8,02	0,5	6,9
12	6,70	7,58	0,9	13,1
13	6,45	7,19	0,7	11,5
14	6,95	6,85	-0,1	-1,4
15	5,96	6,55	0,6	10,0

Источник: данные автора

Если бы р. Магаданка была не изучена, то для вычисления гидрографа стока на спаде паводка пришлось бы воспользоваться формулой (5). Точность вычисления гидрографа по этой формуле составила 16,8% (рис. 3, табл. 3).

Таким образом, для оперативного использования формулы (2) на изученной реке (см. табл. 1) гидрологу-прогнозисту необходимо знать только расход воды в день пика паводка. В случае проведения инженерно-гидрометеорологических изысканий для расчета гидрографа стока на спаде паводка заданной обеспеченности на неизученной реке необходимо будет воспользоваться формулой (5) при этом все входные параметры определяются по рекомендациям, изложенным в [8]<sup>1</sup>.



Источник: составлено автором

Рис. 3. Наблюденные (1) и рассчитанные (2) кривые спада дождевого паводка на р. Магаданке у г. Магадана в 2014 г. в предположении, что река не изучена

Fig. 3. (1) Observed and (2) calculated curves of rain flood decline on the Magadanka river near Magadan in 2014 under the assumption that the river was not studied

<sup>1</sup> Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л., Гидрометеоиздат, 1984. 447 с.; Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 74 с.

Таблица 3

**Точность расчета гидрографа на спаде дождевого паводка на р. Магаданке у г. Магадана в предположении, что река не изучена**

Table 3

**Accuracy of the calculation of the hydrograph on the decline of the rain flood on the Magadanka river near Magadan under the assumption that the river was not studied**

Номер дня, начиная со дня прохождения пика паводка	Наблюденный расход воды, м <sup>3</sup> /с	Рассчитанный расход воды, м <sup>3</sup> /с	Ошибка, м <sup>3</sup> /с	Относительная ошибка
1	38,1	38,1	0,0	0,0
2	18,1	25,0	6,9	37,9
3	13,9	19,5	5,6	40,2
4	13,1	16,4	3,3	24,9
5	13,9	14,3	0,4	2,7
6	12,4	12,8	0,4	3,0
7	11,6	11,6	0,0	0,2
8	9,30	10,7	1,4	15,2
9	8,55	10	1,4	16,6
10	8,40	9,40	1,0	11,3
11	7,50	8,80	1,3	17,7
12	6,70	8,40	1,7	24,9
13	6,45	8,00	1,5	23,6
14	6,95	7,60	0,7	9,6
15	5,96	7,30	1,3	22,5

Источник: данные автора

### Заключение

Кривые спада дождевых паводков на реках Северного Приохотоморья хорошо аппроксимируются степенной функцией.

Для вывода районной формулы вычисления ежедневных расходов воды был предложен показатель – относительная глубина летней межени, который хорошо связан со степенью редукции стока.

На примере дождевого паводка редкой повторяемости, который прошел в г. Магадане в 2014 г. показано, что средняя относительная ошибка для изученной реки составляет 8,4%, а для неизученной – 16,8%.

Данная методика будет полезна гидрологам-прогнозидам и специалистам, проводящим инженерно-гидрометеорологические изыскания.

Статья поступила в редакцию 17.07.2019

### ЛИТЕРАТУРА

1. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э. Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 515 с.
2. Георгиевский Ю. М., Шаночкин С. В. Гидрологические прогнозы. СПб: РГГМУ, 2013. 436 с.
3. Ландшафты, климат и природные ресурсы Тауйской губы Охотского моря / Под ред. И. А. Черешнева. Владивосток: Дальнаука, 2016. 525 с.
4. Север Дальнего Востока / Под ред. Н. А. Шилов. М.: Наука, 1970. 487 с.
5. Ушаков М. В. Математическая модель истощения стока рек Северного Приохотоморья в период зимней межени // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2016. Т. 21. № 1. С. 83–87.

6. Ушаков М. В. О сокращении стационарной гидрологической сети на Северо-Востоке России // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: тезисы докладов VII Всероссийской научной конференции с международным участием, г. Апатиты, 16–22 июня 2019 г. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. С. 172–173.
7. Glotov V. E., Glotova L. P. Geocryological and hydrogeological conditions of the coalfields on the northern coast of the sea of Okhotsk // *Earth's Cryosphere*. 2015. Vol. XIX. № 1. P. 3–10.
8. Lobanov S. A., Ushakov M. V. The river water resources of the Magadan region and their long-term variability // *Geography and natural resources*. 2008. Vol. 29. № 3. P. 247–250.

#### REFERENCES

1. Ershov E., ed. *Geokriologiya SSSR. Vostochnaya Sibir' i Dal'nii Vostok* [Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the Far East]. Moscow, Nedra Publ., 1989. 515 p.
2. Georgievskii Yu., Shanochkin S. *Gidrologicheskie prognozy* [Hydrological forecasts]. St.-Petersburg, RGGMU Publ., 2013. 436 p.
3. Chereshneva I., ed. *Landshafty, klimat i prirodnye resursy Tauiskoi guby Okhotskogo morya* [Landscapes, climate and natural resources of the Tauisk Bay of the Okhotsk sea]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2016. 525 p.
4. Shilo N., ed. *Sever Dal'nego Vostoka* [The North of the Far East]. Moscow, Nauka Publ., 1970. 487 p.
5. Ushakov M. [Mathematical model of depletion of river flow of the Northern Coast of the Sea of Okhotsk during the winter low water period]. In: *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan* [Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan], 2016, vol. 21, no. 1, pp. 83–87.
6. Ushakov M. [On the reduction of the stationary hydrological network in the North-East of Russia]. In: *Ekologicheskie problemy severnykh regionov i puti ikh resheniya: tezisy dokladov VII Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Apatity, 16–22 iyunya 2019 g.* [Ecological problems of Northern regions and ways for their solution: abstracts of the VII all-Russian scientific conference with international participation, Apatity, Russia, 16–22 June 2019]. Apatity, FITs KNTs RAN Publ., 2019, pp. 172–173.
7. Glotov V., Glotova L. Geocryological and hydrogeological conditions of the coalfields on the Northern Coast of the Sea of Okhotsk. In: *Earth's Cryosphere*, 2015, vol. XIX, no. 1, pp. 3–10.
8. Lobanov S., Ushakov M. The river water resources of the Magadan region and their long-term variability. In: *Geography and natural resources*, 2008, vol. 29, no. 3, pp. 247–250.

---

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ушаков Михаил Вилорьевич – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории региональной геологии и геофизики Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук; e-mail: mvilorich@narod.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Mikhail V. Ushakov – PhD in Geographical Sciences, senior researcher at the Laboratory of Regional Geology and Geophysics, N.A. Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: mvilorich@narod.ru

---

#### ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Ушаков М. В. Расчет кривых спада дождевых паводков для управления гидроэкологической ситуацией на реках Северного Приохотоморья // Географическая среда и живые системы. 2020. № 1. С. 126–133. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-126-133

#### FOR CITATION

Ushakov M. Calculation of the curves of decay of rain flows on the rivers of the northern coast of the Sea of Okhotsk. In: *Geographical environment and living systems*, 2020, no. 1, pp. 126–133. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-126-133