

УДК 556.048

DOI: 10.34753/HS.2021.3.1.72

**ВЛИЯНИЕ ЛЕСА НА
СНЕГОНАКОПЛЕНИЕ (ПО
ДАНЫМ ПОДМОСКОВНОЙ
СТОКОВОЙ СТАНЦИИ)**А.Ю. Виноградов^{1,2}, И.А. Виноградов¹,
Е.А. Парфенов¹

¹ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай,
Россия ²ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова», г. Санкт-Петербург,
Россия
gd@npogtp.ru

**EFFECT OF FOREST ON SNOW
ACCUMULATION (ACCORDING
TO THE DATA OF THE MOSCOW
REGION RUNOFF STATION)**Alexey Yu. Vinogradov^{1,2},
Ivan A. Vinogradov¹, Evgeniy A. Parfenov¹

¹Scientific and Industrial Research Association
Gidrotehproekt, Valday, Russia
²Saint Petersburg State Forest Technical University,
St. Petersburg, Russia

gd@npogtp.ru

Аннотация. Инженерные водопропускные и водоотводные сооружения проектируются при решении мелиоративных задач и строительстве дорог. Поскольку основным параметром для расчетов размеров мостовых или трубных отверстий, или сечений водоотводных мелиоративных канав является экстремальный расход, его правильное определение оказывает большое влияние на принятие проектных решений. Экстремальные расходы на большинстве рек проходят во время весеннего половодья, поэтому для правильного определения этого расхода важно понимать условия формирования половодий.

В зоне смешанных лесов Европейской части России при площадях водосбора, превышающих 100 км², весеннее половодье практически всегда по величине превышает ливневой паводок. Объем половодья определяется запасами воды в снежном покрове на начало снеготаяния, а максимальный расход – дружностью весеннего половодья. Поэтому изучение условий формирования снежного покрова, его распределения по бассейну реки представляет большой научный и практический интерес. Накопление снеготазпасов сильно зависит от степени покрытия территории водосбора лесом, особенно в зонах тайги, смешанных лесов и лесостепной зоне. Основной стокоформирующей характеристикой снежного покрова являются максимальные снеготазпасы – общее количество

Abstract. Engineering culverts and drainage structures are designed when solving land reclamation problems and road construction. Since the main parameter in calculating the dimensions of bridge or pipe holes or sections of drainage ditches is the extreme flow rate, its correct determination has a great influence on design decisions. Extreme flow rates on most rivers occur during the spring flood, so to correctly determine this flow rate, it is important to understand the conditions of flood formation.

In the mixed forest zone of the European part of Russia, with drainage areas of more than 100 km², the flood of the spring flood almost always exceeds the storm flood in magnitude. Its volume is determined by the water reserves in the snow cover at the beginning of snow melting, and its consumption is determined by the amicability of the spring flood. Therefore, the study of the conditions for the formation of snow cover, its distribution over the river basin is of great scientific and practical interest. The accumulation of snow reserves strongly depends on the degree of coverage of the catchment area with forest, especially in the zones of taiga, mixed forests and forest-steppe. The main runoff-forming characteristic of the snow cover is the maximum snow storage - the total amount of water in solid and liquid form contained in the snow cover at the time of its maximum accumulation. For example, for the forest and field catchments of the Moscow Region runoff station, the maximum snow reserves in individual years differ in moisture content

воды в твердом и жидком виде, содержащееся в снежном покрове на момент максимального его накопления. Например, для лесного и полевого водосборов Подмосковной стоковой станции максимальные снеготаяния в отдельные годы имеют различие во влагосодержании до 60%. Перераспределение снеговых запасов в пользу леса приводит к более позднему снеготаянию и, как следствие, уменьшению коэффициента дружности весеннего половодья. Максимальные влагозапасы в снегу в лесу превышают таковые на открытой местности по многолетним данным в среднем на 10%, однако коэффициент, учитывающий влияние леса на сток, уменьшает значения максимального стока на 30–40% по сравнению с полем, что подтверждается данными наблюдений. В статье отмечается различие между коэффициентами дружности половодья, вычисленными по его физическому смыслу и определенными по данным рек-аналогов обратным путем.

Ключевые слова: снежный покров; весеннее половодье; запас воды в снегу; воднобалансовые станции; снегонакопление; стокоформирующие характеристики

Постановка задачи

Основной целью гидрологических расчетов¹ является установление величины расхода дождевых паводков и весеннего половодья заданной повторяемости. В предлагаемой статье рассматриваются вопросы формирования весеннего половодья и определения его характеристик: объема и максимального расхода.

Характеристики половодья определяются запасами воды в снежном покрове на начало снеготаяния, глубиной промерзания и увлажненностью почвы, рельефом и состоянием подстилающей поверхности, дружностью весеннего половодья. Вследствие этого изучение условий формирования снежного покрова, его распределения по бассейну реки представляет

up to 60%. The redistribution of snow reserves in favor of the forest leads to later snow melting and, as a consequence, spreading of the peak of the spring flood. The maximum moisture reserves in snow in the forest exceed those in the open area according to long-term data by an average of 10%, however, the coefficient taking into account the influence of the forest on the runoff takes values of 30–40%, which is confirmed by observation data. The article notes the difference between the flood friendship coefficients calculated according to its physical meaning and determined from the data of analogous rivers in the opposite way.

Keywords: snow cover; spring flood; water reserve in snow; water balance stations; snow accumulation; runoff-forming characteristics

большой научный и практический интерес [Брюхань, Виноградов, Лаврусевич, 2015].

Доля исследованных малых водотоков на территории Российской Федерации не превышает 0,01% от их общего количества. В связи с этим подавляющее большинство рек при проведении гидрологических расчетов определяются как неизученные. Рассмотрим параметры, входящие в редуцированную формулу, которую используют в случае отсутствия наблюдений на малых реках согласно СП 33-101-2003.

Расчет максимальных расходов воды заданной повторяемости $Q_{p\%}$, м³/с, при наличии рек-аналогов выполняется по редуцированной формуле (1), рекомендуемой в СП 33-101-2003:

¹ СП 33-101-2003. Свод Правил по определению расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 73 с. (далее – СП 33-101-2003)

$$Q_{P\%} = K_0 h_{P\%} \mu \delta \delta_1 \delta_2 A / (A_1 + A)^n \quad (1)$$

где K_0 – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья;

$h_{P\%}$ – расчетный слой суммарного весеннего стока ежегодной вероятности превышения $P\%$ (без срезки грунтового питания), мм;

μ – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров кривых распределения слоев стока и максимальных расходов воды;

$\delta, \delta_1, \delta_2$ – коэффициенты, учитывающие влияние водохранилищ, прудов и проточных озер (δ), залесенности (δ_1) и заболоченности речных водосборов (δ_2) на максимальные расходы воды;

A – площадь водосбора исследуемой реки до расчетного створа, км²;

A_1 – дополнительная площадь, учитывающая снижение интенсивности редукиции модуля максимального стока с уменьшением площади водосбора, км²;

n – показатель степени редукиции.

Для лесной зоны европейской территории России согласно таблице 10 Пособия по определению расчетных гидрологических характеристик² (далее – Пособие) коэффициенты приняты равными $A_1=1; n=0,17$.

Коэффициенты δ и $\delta_2 = 1 - 0,7 \lg(0,1 f_6 + 1)$, где f_6 – заболоченность водосбора, %, в рассматриваемом случае $f_6 = 0$) в работе не рассматриваются и принимаются равными единице.

Коэффициенты δ_1 рассчитываются по формуле:

$$\delta_1 = \alpha / (f_L + 1)^{n'} \quad (2)$$

где n' – коэффициент редукиции; принят для исследуемого района, относящегося к лесной зоне, равным 0,22;

α – параметр, учитывающий расположение леса на водосборе, принимается равным 1,0 как при

равномерном расположении леса, так и при залесенности $f_L > 30\%$.

В статье изменчивость параметров δ_1 и K_0 , входящих в редукиционную формулу (1), рассматриваются на примере изученных водотоков – ручьев.

Согласно СП 33-101-2003 и Пособия максимальные расходы воды весеннего половодья пропорциональны слою стока весеннего половодья и коэффициенту дружности половодья. Оба параметра определяют по соответствующим величинам для рек-аналогов с учетом коэффициента редукиции, зависящего от площади водосбора. Выбор рек-аналогов осуществляется при соблюдении определенных эмпирических соотношений:

$$L/A^{0,56} \approx L_a/A_a^{0,56}$$

$$JA^{0,50} \approx J_a A_a^{0,50}$$

где L и L_a – длина исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км;

J и J_a – уклон водной поверхности исследуемой реки и реки-аналога, ‰;

A и A_a – площади водосборов исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км².

Выбор рек-аналогов, как видно, не зависит от степени залесенности водосбора, слоя стока и коэффициента дружности, поэтому нередко в качестве аналога выступает единственный изученный водосбор, имеющийся в наличии в рассматриваемом регионе.

Объекты

Оценка максимальных запасов воды в снежном покрове проводилась для водосборов Подмосковной стоковой станции на основе данных многолетних наблюдений за снегозапасами в пределах водосборов логов Лесного и Полевого (рисунок 1), бассейн реки Волги³. Характеристики водосборов даны в таблице 1.

² Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / Составители: А.В. Рождественский, В.Е. Водогрецкий, А.П. Копылов и др. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 448 с.

³ Материалы наблюдений подмосковной стоковой станции. Выпуск 3-4. (1955-1959 гг; 1960-1962 гг.) Москва, 1966.

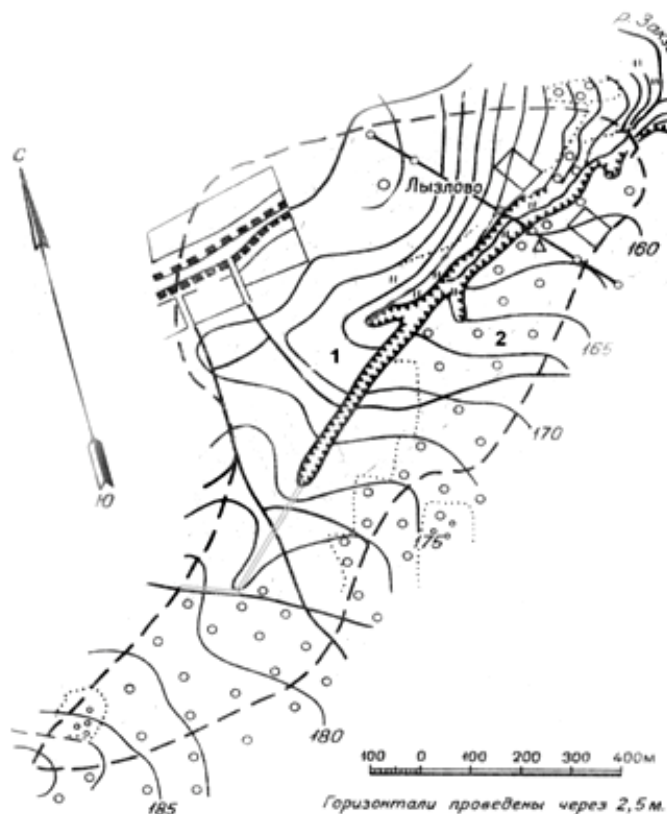


Рисунок 1. Водосбор ручья Прогоны. Притоки: левый – лог Полевой (1); правый – лог Лесной (2).
Figure 1. The catchment area of the Progony creek. Inflow: left – Polevoy log (1); right – Lesnoy log (2).

Таблица 1. Характеристики исследуемых водосборов.

Table 1. Characteristics of the studied catchments.

Водосбор	Площадь водосбора, км ²	Длина водотока, км	Средний уклон водотока/водосбора, ‰	Часть площади водосбора занятая, %		Период измерений, годы
				лесом	лугом	
Лог Лесной	0,066	0,17	16,5/26,6	100	-	1952-1987
Лог Полевой	0,11	0,21	22,8/20,1	4	96	1952-1987

Лог Лесной является правым притоком ручья Прогоны, который в свою очередь является левым притоком реки Закзы, притока реки Медвенки (бассейн реки Москвы). Водосбор лога имеет правильную овальную форму и ориентирован с юга на север. Рельеф водосбора мягко-волнистый, водораздел выражен нечетко. Водосбор имеет асимметричное строение: уклон левого склона больше, чем правого. Тальвег лога прослеживается только от средней части водосбора, а верховье тальвега расположено ближе к правому водоразделу. Далее тальвег

имеет значительно больший уклон и переходит в овраг. Покровные суглинки перекрывают ровным слоем все нижележащие отложения. Мощность суглинков уменьшается от водоразделов к тальвегу и у расчетного створа составляет 1,2 м. Грунтовые воды вскрываются в нижней части водосбора, в 20 м выше впадения лога в ручей Прогоны. Почва дерново-подзолистая, суглинистая.

Лог Полевой является левым притоком ручья Прогоны. Тальвег лога делит водосбор лога на две неравные части. Площадь северной части

более чем в 2 раза превосходит площадь южной. Склоны лога асимметричны: левый имеет большую протяженность и больший уклон чем правый. Тальвег представлен слабо выраженным понижением, в нижней части он, постепенно углубляясь, переходит в овраг. Почва на водосборе – дерново-подзолистая, суглинистая.

Характеристика снежного покрова

Основной стокоформирующей характеристикой снежного покрова являются максимальные снегозапасы – общее количество воды в твердом и жидком виде, содержащееся в снежном покрове на момент максимального его накопления.

Временный снежный покров появляется на рассматриваемой территории в конце первой декады ноября, устойчивый снежный покров – в последних числах ноября, хотя в отдельные годы даты могут сильно сдвигаться. Ранние сроки могут приходиться на последнюю декаду

октября, поздние – на первую декаду января. Максимальной высоты снежный покров достигает, как правило, в первой декаде марта. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом составляет 130–140 дней. Процесс снеготаяния происходит довольно быстро. Интенсивное снеготаяние длится не более 5–10 дней. Устойчивый снежный покров разрушается в первых числах апреля, хотя после этого снег может выпадать на непродолжительное время.

Относительные перепады высоты местности в пределах рассматриваемой территории невелики, влияние рельефа на выпадение атмосферных осадков и формирование снежного покрова не значимо.

Однако заметное различие в снегозапасах между полем и лесом имеет место (таблицы 2, 3). Установлено, что в лесах запасы воды в снегу, скапливающиеся к началу снеготаяния, больше чем в поле.

Таблица 2. Характеристика снежного покрова перед началом снеготаяния, здесь и далее по данным^{3,4}.

Table 2. Characteristics of the snow cover before the start of snowmelt, here and further according to^{3,4}.

Водосбор	Высота, см			Плотность, г/см ³			Запасы воды в снегу, мм		
	Мин.	Ср.	Макс.	Мин.	Ср.	Макс.	Мин.	Ср.	Макс.
Полевой	24	42	61	0,17	0,22	0,28	51 (1954)	107	173 (1966)
Лесной	21	44	60	0,16	0,21	0,23	63 (1954)	120	213 (1966)

Таблица 3. Осредненные характеристики снежного покрова в поле и в лесу.

Table 3. Average characteristics of snow cover in the field and in the forest.

Период наблюдений	Дата			Осредненные характеристики снежного покрова перед началом снеготаяния		
	начала снегонакопления	максимума снегозапасов	схода снега	высота, см	плотность, г/см ³	запас воды в снегу, мм
Полевой						
1952-1987	30.11	18.03	08.04	42	0,22	107
Лесной						
1952-1987	28.11	19.03	15.04	44	0,21	120

Неравномерность их распространения определяется, следовательно, наличием на водосборе лесопокрытых площадей. Процесс накопления снега является сложной функцией многих факторов, в том числе состава, ярусности, возраста леса, а также метеорологических

условий. К основным факторам, обуславливающим разницу снегозапасов в поле и в лесу, относятся различная интенсивность снеготаяния в поле и в лесу во время зимних оттепелей; разница в испарении с поверхности снега в поле и в лесу; благоприятные условия для

⁴ Материалы наблюдений подмосковной стоковой станции. Выпуск 5-29. 1963-1987 гг. Москва, 1966-1988.

конденсации водяных паров в лесу; ветровой перенос снега с поля в лес. Анализ рядов наблюдений за максимальными снегозапасами и анализ метеорологических условий в отдельные годы показал, что даже в отсутствие зимних оттепелей снегозапасы в лесу также превышают снегозапасы в поле.

На основе многолетних снегомерных съемок средний коэффициент снегонакопления (отношение запаса воды в снегу в лесу к запасу воды в поле) для рассматриваемой территории равен 1,12.

Самый высокий коэффициент снегонакопления наблюдался в 1984 году – 1,62. Запасы воды в снегу на логе Лесной в этом году составили 89 мм, на логе Полевой – всего 55 мм. Зима 1983–1984 годов была очень контрастной: первая половина, до конца января, была очень мягкой, с большим числом оттепелей и умеренным числом осадков. Средняя температура января была на 4,8°C выше нормы, количество осадков составило 70% от нормы. Во время оттепелей происходило почти полное стаивание снега в полях. Вторая половина зимы была холодной, однако, тоже малоснежной. В феврале температура воздуха была на 3°C ниже нормы, выпало всего 2,5 мм осадков при норме 25 мм. Высота снежного покрова в полях составила 15 см, в лесах – 30–35 см. Март тоже был теплее обычного, количество осадков составило около 55% от нормы. Таким образом, к началу снеготаяния было накоплено мало снега.

Таблица 4. Подстилаящая поверхность.

Table 4. Underlying surface.

Водоток	Часть площади водосбора, %, занятая							
	пашней		лесом		лугом		населенными пунктами	
	1962	2008	1962	2008	1962	2008	1962	2008
Полевой	92	0	4	12	3	44	38	56
Лесной	0	0	100	100	0	0	0	0

Подстилаящая поверхность

С 1962 года по настоящее время в результате хозяйственной деятельности на водосборах подстилаящая поверхность претерпела серьезные изменения. Поменялись лесопокрытая площадь, породный состав, возраст и полнота леса. Поля частично заросли, сельскохозяйственная деятельность на них полностью прекращена. Значительная часть угодий застроена. Изменение процентного соотношения того или иного вида подстилаящей поверхности за 46 лет представлены в таблице 4.

Почвы

Почвообразующими породами района являются по большей части покровные суглинки, мощность которых колеблется от 1,0 до 3,0 м, при этом наблюдается увеличение мощности от водоразделов вниз по склонам. В бассейне реки Медвенки наибольшее распространение имеют суглинистые, в северо-западной части супесчаные дерново-среднеподзолистые почвы.

Водно-физические свойства почв

Водно-физические характеристики почв представлены в таблицах 5, 6. Табличные данные по водно-физическим характеристикам почв на одних и тех же участках значительно различаются.

Влажность почв измерялась для верхних горизонтов в шестикратной повторности, для слоев глубже 0,5 м – в трехкратной. Точность измерений составляет по данным конкретных замеров 5–8%.

Таблица 5. Водно-физические характеристики почв. Лог Полевой, участок 1.**Table 5.** Water-physical characteristics of soils. Polevoy log, plot 1.

Слой почвы, см	Удельный вес, г/см ³	Объемный вес, г/см ³	Влажность завядания, мм	Максимальная водоудерживающая способность, мм	Общая скважинность, % объема
0-10	2,66	1,3	7	32	51
10-20	2,64	1,37	8	30	48
20-30	2,70	1,48	9	30	45
30-40	2,72	1,46	13	29	46
40-50	2,74	1,57	15	30	43
50-60	2,74	1,59	17	31	42
60-70	2,73	1,59	18	30	42
70-80	2,74	1,62	18	30	41
80-90	2,72	1,66	18	29	39
90-100	2,72	1,7	18	29	38
на 1 м			141	300	

Таблица 6. Водно-физические характеристики почв. Лог Лесной, участок 3.**Table 6.** Water-physical characteristics of soils. Log Lesnoy, plot 3.

Слой почвы, см	Удельный вес, г/см ³	Объемный вес, г/см ³	Влажность завядания, мм		Максимальная водоудерживающая способность, мм		Общая скважинность, % объема	
			1959	1962	1959	1962	1959	1962
данные за годы:			1959	1962	1959	1962	1959	1962
0-10	2,57	1,18	7	5	29	16	51	54
10-20	2,57	1,45	8	8	22	31	48	44
20-30	2,64	1,50	9	14	22	21	45	43
30-40	2,67	1,56	13	17	15	15	46	42
40-50	2,72	1,56	15	17	16	15	43	43
50-60	2,72	1,56	17	18	16	14	42	43
60-70	2,61	1,61	18	20	15	15	42	38
70-80	2,69	1,62	18	19	15	17	41	40
80-90	2,62	1,6	18	20	16	16	39	39
90-100	2,62	1,58	18	19	17	16	38	40
на 1 м			141	157	183	176		

В материалах подмосковной водно-балансовой стоковой станции имеют место результаты, когда влажность завядания по численному значению превосходит максимальную водоудерживающую способность (h^*) или текущая измеренная влажность меньше влажности завядания. Этот факт объясняется пестротой почвы.

В результате анализа влагосодержания, максимальная водоудерживающая способность метрового слоя почвы нами принята на поле равным 225 мм, в лесу – 215 мм.

В таблицах 5 и 6 представлены водно-физические характеристики почв (по материалам наблюдений Подмосковной стоковой станции 1955–1959 и 1960–1962 годов соответственно):

участок 1 (Лог Полевой): пашня, почва дерново-среднеподзолистая, среднесуглинистая, на покровном суглинке, до 21 см пахотный слой, ниже 72 см тяжелый суглинок

участок 3 (Лог Лесной): лиственный лес, почва дерново-слабоподзолистая, средний суглинок на тяжелом суглинке.

Параметры, влияющие на размеры весеннего половодья: запасы воды в снежном покрове на начало снеготаяния, глубина промерзания и увлажненность почвы, представлены в таблице 7. В качестве образца взят 1964 год, как условно средний по стоку. Интенсивность инфильтрации принята пропорциональной отношению $w/h^* = 1-2$ мм/сут, что соотносится с данными таблицы 38 Материалов наблюдений 1963 года.

Снег на логе Полевом в этот год полностью сошел 13 апреля, почва оттаяла 1 мая. Измеренное влагосодержание метрового слоя почвы полностью соответствует водному балансу с периода максимального стока (11–18 апреля) до начала межлетнего периода (начало июня). К середине лета слой дефицита измеренной влаги, по сравнению с расчетными значениями, достигал 50 мм, однако, к концу года он полностью исчез.

Такая же картина имела место на водосборе лога Лесного. Максимальный дефицит влаги по сравнению с измеренными значениями имел место в период с 30 июня по 09 июля. Объяснения этого несоответствия между данными многолетних измерений влажности и расчетов водного баланса у нас нет.

Превышение расчетного влагосодержания метрового слоя почвы лога Лесного над измеренным на 50 мм в период с 18 по 24 апреля 1964 года (при том что снег полностью стаял 16 апреля), объясняется запылением излишней влаги промерзшим слоем почвы до 29 апреля.

В таблице 7 приведены данные о продолжительности и среднесуточных максимальных расходах воды весеннего половодья, запасах воды в снегу на начало снеготаяния, влажности почвы и глубине промерзания за период наблюдений с 1955 по 1987 год.

Коэффициент, учитывающий влияние залесенности

Коэффициент δ_1 , учитывающий влияние леса, входит в расчетную формулу (1) и определяется по зависимости (2). При этом легко заметить, что при залесенности менее 3% $\delta_1=1$, при залесенности 4% этот коэффициент уже составляет $\delta_1=0,71$!

Вычисленные величины коэффициента приведены в таблице 8. Исходя из приведенного расчета, можно сделать вывод об однозначном влиянии леса на максимальный весенний паводок. Чем большая часть площади водосбора покрыта лесом, тем он будет меньшим.

Однако, как показано выше, различие между снегозапасами на залесенных и частично залесенных водосборах может привести к заметному увеличению слоя весеннего половодья (в отдельные годы до 60%).

Влияние леса на основании сопоставления данных многолетних измерений слоя стока весеннего половодья (таблица 9) составило $\delta_1=0,306$ (отношение слоев стока лога Лесного к логу Полевому). Согласно зависимости (2), $\delta_1=0,362$, но с учетом $\delta_1=0,712$ для лога Полевого, $\delta_1=0,516$.

Слои паводкового стока по водосборам (таблица 9) взяты из соответствующих таблиц по материалам Подмосковной стоковой станции, (таблица 10) – рассчитаны нами по данным наблюдений за стоком и осадками.

Если продолжительность половодья по данным Подмосковной стоковой станции отличалась от принятой нами по данным наблюдений за стоком и осадками продолжительности более, чем на два дня (таблица 9), то такие данные приведены в скобках.

Коэффициент δ_1 позволяет учесть изменение максимальных расходов воды в зависимости от площади бассейна, занятой лесом. Таким образом, для лога Полевого через коэффициент δ_1 учитывается снижение максимальных расходов воды.

Таблица 7. Составляющие водного баланса логов Полевой и Лесной Подмосковной стоковой станции за 1964 год
Table 7. Components of the water balance of the logs of the Field and Forest drainage station near Moscow for 1964

	Дата, 1964 год	20.мар	11.апр	18.апр	24.апр	11.май	21.май	28.май	08.июн	18.июн	30.июн	09.июл	20.июл	29.июл	10.авг
1	осадки, мм	-	37,6	3,8	2,7	25,2	28,4	8,2	23	0,2	0,4	19	0	0	42
2	промерзание, от поверхности почвы, м	0/59	0/50	4,45	23/36	0									
3	влажностное содержание метрового слоя почвы по водному балансу, мм	316	315	337	331	319	317	298	288	260	239	239	229	225	243
4	измеренное влагосодержание метрового слоя почвы, мм	316	311	313	316	307	338	293	273	227	207	179	166	186	209
5	сток, мм		1,8/0	94/0	1/0	0/13	0/13	0/10	0/13	0/13	0/12	0/11			0/11
6	испарение, мм		6,1	6,9	7,7	24,2	17,7	16,7	20,3	14,9	10,0	8,8	10,1	4,1	12,4
	Дата, 1964 год	20.авг	28.авг	09.сен	18.сен	30.сен	09.окт	20.окт	28.окт	10.ноя	19.ноя	27.ноя	11.дек	29.дек	
1	осадки, мм	1	0,5	4	21	7,5	5	6	7	2,5	15	9,1	29,5	24,2	
2	промерзание, от поверхности почвы, м									0/14	0	0/24	0/12	0/27	
3	влажностное содержание метрового слоя почвы по водному балансу, мм	228	221	218	225	225	226	225	225	221	227	233	260	260	
4	измеренное влагосодержание метрового слоя почвы, мм	171	188	173	183	191	196	197	210	193	224	239	251	278	
5	сток, мм	0/4			0/7	0/2		0/3	0/5		0/10		0,1/0		
6	испарение, мм	12,4	7,1	7,3	7,2	5,2	4,0	4,3	2,0	3,5	2,0	3,0	2,0	2,8	

Полевой

		20.мар	11.апр	18.апр	24.апр	11.май	21.май	28.май	08.июн	18.июн	30.июн	09.июл	20.июл	29.июл	10.авг
	Дата, 1964 год														
7	промерзание, от поверхности почвы, м	0/106	6/105	3,51	38/99	0									
8	влажностное содержание метрового слоя почвы по водному балансу, мм	316	323	322	414	393	388	367	350	310	275	269	240	223	241
9	измеренное влагосодержание метрового слоя почвы, мм	316	279	320	365	361	357	342	317	276	240	220	220	220	233
10	русловой/инфильтрационный сток, мм			3,8/0	0,9/0	0/21	0/18	0/13	0/17	0/18	0/16	0/13	0/13	0/8	0/11
11	испарение, мм		5,5	3,3	8,6	25,7	15,0	16,6	22,8	22,1	19,7	12,3	16,7	9,4	12,6
	Дата, 1964 год	20.авг	28.авг	09.сен	18.сен	30.сен	09.окт	20.окт	28.окт	10.ноя	19.ноя	27.ноя	11.дек	29.дек	
7	промерзание, от поверхности почвы, м									0/14	0	0/20	0/12	0/18	
8	влажностное содержание метрового слоя почвы по водному балансу, мм	223	216	210	217	215	217	215	215	209	227	226	255	255	
9	измеренное влагосодержание метрового слоя почвы, мм	195	210	197	202	202	225	217	233	208	251	236	251	259	
10	русловой/инфильтрационный сток, мм	0/8			0/8	0/5		0/5	0/6		0/10				
11	испарение, мм	10,5	7,8	9,4	6,4	4,4	2,8	3,4	0,9	2,4	1,9	1,1	1,7	1,5	

Лесной

Таблица 8. Значения коэффициентов δ_1 и α .Table 8. Values of the coefficients δ_1 and α .

Расположение леса на водосборе	Коэффициент α			Коэффициент δ_1		
	До 10	До 20	До 30	До 10	До 20	До 30
Площадь, занятая лесом, %						
равномерное	1	1	1	0,59	0,51	0,47
в верховье	0,85	0,8	0,75	0,50	0,41	0,35
в устьевой и прирусловой частях	1,2	1,25	1,3	0,71	0,64	0,61

Таблица 9. Данные о слоях весеннего половодья за годы наблюдений.

Table 9. Data on spring flood layers for the years of observations.

Год	Слой стока весеннего половодья, мм		Продолжительность половодья, дней рассчитанные (по ежегодникам)		Запас воды в снегу, мм		Влажность почвы на начало снеготаяния, мм/м	Глубина промерзания, м		Слой осадков за холодный период, мм
	Лог Лесной	Лог Полевой	Лог Лесной	Лог Полевой	Лог Лесной	Лог Полевой		Лог Полевой	Лог Лесной	
1955	90	177	20	20	193	194	367	-	-	216
1956	4,2	25	12	17	161	132	277	-	-	153
1957	39	83	22	9	150	148	347	0,31	0,45	199
1958	23	88	15	24	170	151	333	0,29	0,32	188
1959	32	120	20	21	146	108	381	0,41	0,56	139
1960	12	122	16	20	150	139	312	0,58	0,77	189
1961	32	66	24	16	75	62	408	0,09	0,19	158
1962	14	76	12	12	138	100	365	0,08	0,42	132
1963	62	167	22	16	144	123	360	0,32	0,74	128
1964	4,7	94	13	16	99	79	316	0,47	1,10	106
1965	0,2	64	5	24	118	99	256	0,25	0,78	135
1966	82	118	26	18	213	173	352	0,23	0,32	235
1967	8,5	73	14	16	122	112	283	0,22	0,48	187
1968	20	55	15	15	161	154	297	0,23	0,39	156
1969	5,0	88	12	18	94	78	354	0,84	0,75	88
1970	100	175	25	24	181	143	378	0,20	0,40	186
1971	3	54	16	16	80	51	383	0,38	0,74	103
1973	12	63	21	14(30)	73	64	372	0,69	1,30	82
1974	22	76	22	22(39)	105	101	326	0,13	1,00	115
1975	4	16	8	26	90	87	344	0,00	0,35	107
1976	6	126	14	21	132	98	300	0,53	1,03	150
1977	38	103	23	37	120	103	385	0,05	0,57	130
1978	13	45	21	39	122	135	345	0,00	0,11	176
1979	31	150	40	51	125	112	382	0,47	0,50	122
1980	18	39	22	22	101	97	341	0,09	0,15	106
1981	46	79	25	25	137	108	365	0,05	0,22	151
1982	71	113	32	39	156	173	365	0,01	0,10	197
1983	31	57	12	20	95	99	352	0,07	0,10	136
1984	5	41	13	7(16)	89	55	340	0,18	0,65	70
1985	29	99	22	12(35)	140	132	347	0,35	0,44	160
1986	75	111	31	12(47)	158	137	406	0,07	0,14	161
1987	6	56	32	17(40)	125	109	367	0,56	0,86	158,4

Таблица 10. Расчетные значения коэффициента дружности, вычисленные по СТП ВНИИГ 210.01.НТ*-2010 и [Чеботарев]
 Table 10. Calculated values of the friendship coefficient

Водосбор	год	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Лог Лесной	слой весеннего половодья, мм	12,9	36	14,2	62,9	5	0,13	82,3	8,6	20,1	6,4	17,5	52,6	73	64,6	5,3	41,5	75,2	5,6
	к-т дружности	0,17	0,38	0,48	0,29	0,23	0,4	0,24	0,31	0,34	0,29	0,42	0,11	0,19	0,16	0,44	0,18	0,13	0,23
Лог Полевой	слой весеннего половодья, мм	122,5	65,8	78,7	173,6	93,1	64,7	117,1	56,0	55,9	71,9	34,7	74,1	107,8	77,0	36,1	101,3	106,9	51,2
	к-т дружности	0,21	0,19	0,29	0,21	0,27	0,21	0,31	0,35	0,41	0,22	0,36	0,25	0,28	0,30	0,53	0,27	0,22	0,22

Таблица 11. Расчетные значения коэффициента дружности, вычисленные по СТП ВНИИГ 210.01.НТ*-2010 и [Чеботарев] (K_0 (а)) и взяты из [Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973] (K_0 (б))

Table 11. Calculated values of the friendship coefficient calculated from [31, 32] and taken from [33]

Река	Волга			Ока				Москва			Истра	Медвенка
	Ельцы	Ржев	Старша	Иваньковский г/у	Вендерево	Костомарово	Белев	Барсуки	Звенигород	Перервинский г/у		
Площадь, км ²	9130	12200	21100	41000	513	4900	17500	755	5000	8850	1950	21,5
Слой половодья, мм	116,8	136,4	165,2	160,1	61,2	109,8	85,3	180,0	124,4	102,2	144,9	133,8
Максимальный суточный слой, мм	4,5	5,5	11,3	9,3	6,5	8,9	7,0	22,5	9,6	8,3	9,3	49,0
K_0 (а)	0,039	0,040	0,068	0,058	0,107	0,081	0,082	0,125	0,077	0,081	0,064	0,366
Максимальный расход, м ³ /с	477	776	2750	4430	38,8	503	1410	197	557	848	209	12,2
K_0 (б)	0,004	0,004	0,008	0,008	0,005	0,006	0,006	0,007	0,006	0,007	0,004	0,011

Коэффициент дружности

Коэффициент дружности половодья (K_0) согласно СТП ВНИИГ 210.01.НТ*-2010⁵ представляет собой отношение максимального суточного слоя ко всему слою половодья заданной повторяемости.

Коэффициент дружности притока воды в русловую сеть – отношение максимальной (пиковой) интенсивности поступления воды в русловую сеть к слою стока за паводок или половодье [Чеботарев, 1964]. Слой половодья изменяется с продолжительностью половодья: чем дольше длится половодье (во многом субъективная оценка), тем меньше величина коэффициента дружности.

Согласно таблице 78 [Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973] для лога Полевого $K_0=0,0098$; для лога Лесного $K_0=0,0234$. Картированная величина согласно СП 33-101-2003 $K_0=0,012$, данные таблицы 13 СТП ВНИИГ 210.01.НТ*-2010: $K_0=0,2$.

Наши расчеты коэффициента дружности, согласно его определению, составляют 0,24 для лога Лесного и 0,31 для лога Полевого (по данным 1966 года) (таблица 10).

Обращаем внимание на различие на порядок между коэффициентами дружности

половодья, вычисленными по определению, приведенному в СТП ВНИИГ 210.01.НТ*-2010 и [Чеботарев, 1964], и определенным по данным рек-аналогов обратным путем по формуле (1) для рассматриваемых рек бассейна (таблица 11). Объясняется это тем фактом, что зависимость (1) является эмпирической и прямого физического смысла не имеет: $[м^3/с]=[мм*км^2]$. С точки зрения определения термина коэффициента дружности, правильнее было бы записывать (1) следующим образом:

$$Q_{P\%} = 0,1 \cdot K_0 h_{P\%} \mu \delta \delta_1 \delta_2 A / (A_1 + A)^n$$

Расчетные и эмпирические среднесуточные расходы весеннего половодья представлены в таблице 12. Для лога Лесного максимальный расход воды различной обеспеченности, рассчитанный по СП 33-101-2003, приблизительно в 2,5 раза больше, чем снятый с кривой Крицкого-Менкеля, построенной по данным измеренных расходов. Для лога Полевого этот показатель составляет 3,5 раза. В таблице 13 представлены расчетные значения максимальных расходов воды весеннего половодья 3% повторяемости для конкретного года (1970). Коэффициенты дружности в расчете взяты из [Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973].

Таблица 12. Сравнительные величины максимальных расходов воды весеннего половодья различной повторяемости, л/с.

Table 12. Comparative values of the maximum water discharge of the spring flood of various repeatability.

Частота события, %	Лог Лесной			Лог Полевой		
	Ряд измеренных расходов воды		Расчет при отсутствии данных по СП 33-101-2003	Ряд измеренных расходов воды		Расчет при отсутствии данных по СП 33-101-2003
	экстраполяция по кривой Крицкого-Менкеля	эмпирическая вероятность		экстраполяция по кривой Крицкого-Менкеля	эмпирическая вероятность	
1	19		52	68		240
2	17		45	63		210
5	14	14	35	50	47	165
10	11	13	27	44	46	125
20	8,9	9,6	21	37	38,4	95

⁵ СТП ВНИИГ 210.01.НТ*-2010 Методика расчета гидрологических характеристик техногенно-нагруженных территорий. СПб.: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2010. 115 с.

Таблица 13. Сравнительные величины максимальных расходов воды весеннего половодья 3% повторяемости, м³/с.

Table 13. Comparative values of the maximum water discharge of the spring flood of 3% repeatability.

Водосбор	K_0	H_{1970} , мм	δ_1	А, км ²	Q _{3%} , м ³ /с (1970)		
					расчетные	измеренные	
						среднесуточные е	мгновенные е
Полевой	0,0098	175,5	0,712	0,11	0,132	0,046	0,17
Лесной	0,0234	100	0,362	0,066	0,055	0,014	0,027

Предельный возможный максимум (probable maximum flood [Асарин, Жиркевич, 2012]) оценен из соображений выпадения максимально возможного суточного слоя осадков (для Московской области принят 200 мм), наложенного на наиболее интенсивное снеготаяние и соответственно предшествующее переувлажнение почвы. Рассчитанный возможный среднесуточный максимум составил для лога Лесного – 30 л/с, лога Полевого – 150 л/с.

Выводы

1. Отмечено неоднозначное воздействие леса на максимальный сток весеннего половодья. Изучение соотношения запасов воды в снежном покрове в лесу и поле дает основание для введения поправок на слой стока весеннего половодья при расчетах по зависимости (1).

2. Перераспределение снеговых запасов в пользу леса приводит к более позднему снеготаянию, уменьшению наибольших расходов весеннего половодья и большему увлажнению почвы в летний период.

3. В связи с прекращением антропогенного воздействия происходит увеличение лесопокрытых площадей, меняется состав и полнота лесов, густота речной сети, что, в свою очередь, приводит к изменениям в снегонакоплении по бассейну.

Литература

Асарин А.Е., Жиркевич А.Н. О необходимости разработки методики расчета вероятного максимального паводка (PMF) для инженерно-гидрологических расчетов в России // Водное

4. В среднем, глубина промерзания в поле больше, чем промерзание в лесу в 2,1 раза.

5. При залесенности менее 3% коэффициент залесенности $\delta_1 = 1$, при залесенности 4% – $\delta_1 = 0,7$! При этом, точность определения залесенной площади на водосборе не превышает $\pm 2-3\%$.

6. Влагозапас в снегу в лесу больше, чем в поле в среднем на 10%, а коэффициент δ_1 уменьшает максимальный расход весеннего половодья на 30% и более.

7. Между коэффициентами дружности половодья, вычисленными по определению и рассчитанным по данным рек-аналогов обратным путем, отмечается различие на порядок.

8. Рассчитанный 1% расход весеннего половодья по СП превышает предельный возможный максимум – probable maximum flood.

9. Установлены существенные различия в формировании максимальных расходов воды весеннего половодья на лесном и полевом водосборах. Они могут отличаться в 1,5-2 раза в зависимости от метеорологических условий зимы. Рекомендованные методы определения коэффициента дружности в действующих нормативно-методических изданиях для малых водотоков могут привести к значительным погрешностям. Целесообразно определять коэффициент дружности, учитывая лесистость водосбора.

References

Asarin A.Y., Zhirkevich A.N. O neobkhodimosti razrabotki metodiki rascheta veroyatnogo maksimal'nogo pavodka (PMF) dlya inzhenerno-gidrologicheskikh raschetov v Rossii [On the necessity of development of the probable maximal

хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 4. С. 53–63.

Брюхань Ф.Ф., Виноградов А.Ю., Лаврусевич А.А. Организация гидрометеорологического мониторинга в районе размещения Белорусской АЭС // Атомная энергия. 2015. Том 118. Номер 5. С. 292–295.

Ресурсы поверхностных вод СССР: в 20 т. Т.10: Верхне-Волжский район: в 2 кн. Книга 1. Приложения / Под ред. Ю.Е. Яблокова. М.: Гидрометеиздат, 1973. 478 с.

Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 222 с.

flood (PMF) computation method for engineering/hydrological calculations in Russia]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie [Water sector of Russia: problems, technologies, management]*, 2012, no. 4, pp. 53–63. (In Russian; abstract in English).

Bryukhan' F.F., Vinogradov A.Yu., Lavrusevich A.A. Organization of hydrometeorological monitoring in the region of the Belorussian NPP. *Atomic energy*, 2015, vol. 118, iss. 5, pp. 365–368. DOI: [10.1007/s10512-015-0009-3](https://doi.org/10.1007/s10512-015-0009-3). (Russ. ed.: Bryukhan' F.F., Vinogradov A.Yu., Lavrusevich A.A. Organizatsiya gidrometeorologicheskogo monitoringa v raione razmeshcheniya Belorusskoi AES. *Atomnaya energiya*, 2015, vol. 118, iss. 5, pp. 292–295).

Chebotarev A.I. *Gidrologicheskii slovar' [Hydrological Dictionary]*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1964. 222 p. [In Russian]

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: v 20 vol. Vol. 10: Verkhne-Volzhsii raion: v 2 kn. Kniga 1. [Surface water resources of the USSR: in 20 vol. Vol. 10: Verkhne-Volzhsy district: in 2 books. Book 1]. Ed. Yablokov Yu.A. Moscow, Publ. Gidrometeoizdat, 1973. 478 p. (In Russian).