

Ю.В. Карпечко, Н.А. Мясникова

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА В ПЕРВЫЙ ГОД ПОСЛЕ РУБОК В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

Yu. V. Karpechko, N. A. Myasnikova

ESTIMATION OF WATER BALANCE TERMS CHANGES DURING THE FIRST YEAR AFTER LOGGING IN THE TAIGA ZONE OF THE NORTHERN EUROPEAN RUSSIA

Предложены методы оценки изменения элементов водного баланса в первый год после удаления древостоя. Установлено, что величина снижения испарения зависит от возраста, условий роста и продуктивности древостоя. В районах, характеризующихся наличием зимних оттепелей, появление вырубок на залесенных водосборах приводит к снижению максимальных предвесенних запасов воды в снеге.

Ключевые слова: сплошные рубки, испарение, сток, снегозапасы.

Methods for estimation of the changes in the water balance terms during the first year after felling are proposed. The main factor of the increased runoff is the reduced evapotranspiration. It is shown that the amount of the reduction in evapotranspiration depends on the forest age, growth conditions and productivity of the stand. In the regions affected by winter thaws the cleared spaced in the forest-covered catchment areas lead to a reduction in the maximum spring water content in the snow.

Key words: clearcutting, evapotranspiration, runoff, snow reserves.

Большой интерес по гидрологическим последствиям в таежной зоне представляют лесозаготовки, выполняемые сплошными рубками. При сплошных рубках в равнинных лесах Европейской части Российской Федерации древостой полностью удаляется с площади до 50 га за один прием в течение короткого периода [12]. Такие рубки приводят к значительным преобразованиям биогеоценоза на участке и изменениям условий формирования элементов водного баланса.

Минимальное значение суммарного испарения и максимальное значение стока с участка наблюдается, как правило, в первый год после рубок, поэтому оценки изменения годовых величин этих элементов водного баланса из-за масштабов последствий представляют наибольший интерес. Их значимость заключается еще и в том, что эти оценки являются начальными точками динамики элементов водного баланса в продолжительном периоде преобразований геокомплекса.

Исследования влияния рубок на объем стока имеют уже большую историю, однако до сего времени расчеты и прогнозы изменения элементов водного баланса при этом виде хозяйственной деятельности для конкретного объекта представляют большую сложность.

Состояние вопроса

В полевых исследованиях влияния рубок на элементы водного баланса часто используется метод парных экспериментальных водосборов. На одном из них вырубается древостой, а второй оставляют без изменений, он является контрольным [21]. К недостаткам полевых опытов, как известно, относится то, что полученные результаты с полной уверенностью можно применять только в таких же условиях, при которых они были получены. В силу многообразия лесов вероятность возможности использования этих результатов очень мала. Однако полевые исследования, проводимые во многих странах, в том числе и в СССР, позволили достоверно установить знак изменения стока как после удаления древостоя, так и после облесения и показали достаточно высокую изменчивость получаемых оценок [8, 17, 18, 21]. В работе [21] приведены результаты исследований, проведенных на 94 водосборах в различных районах лесной зоны (от тайги до тропических лесов), из которых следует, что из-за удаления различными способами древостоя (рубками, пожарами и вредителями леса) сток увеличивается от 20 до 90 %, а абсолютные величины роста составляют 30–650 мм. Проводимые на территории СССР исследования показали, что испарение после рубок снижалось по данным различных источников на 100–300 мм [8]. Отмечаемые колебания оценок можно объяснить влиянием на них климатических условий, значений метеорологических элементов до и после воздействия, а также характеристик леса до воздействия.

Ранее предложены различные расчетные методы оценок влияния рубок на элементы водного баланса [5, 8, 23]. Однако в одних случаях они представляют собой усредненные по характеристикам таежных лесов эмпирические зависимости относительной величины годового стока (относительно величины стока со спелого леса) или относительного годового испарения (относительно испарения со спелого леса) от длительности периода после рубок соответственно [8, 5], поэтому в одних случаях в полученных оценках не отражается возможное влияние различных характеристик древостоя, в других — использование предлагаемых моделей предполагает наличие достаточно большого объема информации (метеорологических данных, характеристик почвогрунтов и характеристик растительности) [23], что ограничивает их применение экспериментальными водосборами.

Более упрощенным и доступным является подход, опубликованный в работе [21], где на основании обобщения экспериментальных исследований в различных климатических условиях для оценки изменения стока после удаления древостоя предложена простая зависимость изменения годового стока от среднегодовой величины осадков. Приведенная зависимость не отличается высокой надежностью, что, с нашей точки зрения, может быть объяснено слабой обусловленностью в данном случае значения приращения стока атмосферными осадками. Такую зависимость можно, по-видимому, использовать для сравнительной оценки влияния рубок на сток в различных частях лесной зоны (в тайге, в широколиственных лесах и т.д.). Для конкретных условий, например, тайги с помощью такой зависимости получается практически одинаковая для всей зоны оценка, что противоречит полевым наблюдениям.

На основании вышеизложенного можно констатировать, что проблема оценки изменения водного баланса после рубок остается актуальной и в настоящее время.

Многообразие лесов предполагает необходимость рассмотрения возможности влияния их характеристик на изменения испарения и стока после рубок и обозначить пределы преобразований этих элементов водного баланса.

В данной статье на основании выполненных ранее разработок [5] предложены методы оценок изменения годовых величин испарения, стока и максимальных снегозапасов в первый год после воздействия. Показана степень влияния продуктивности древостоя на величину изменения испарения и стока. В качестве оценок изменения этих элементов водного баланса предлагаются величины, получаемые для усредненных метеорологических условий.

Методы оценки изменения годовых величин испарения и стока и максимальных за зимний период снегозапасов после рубок

Изменение испарения за год оценивается как разница между испарением с вырубки и (E_{cl}) и испарением с леса до воздействия (E_f):

$$dE = E_{cl} - E_f. \quad (1)$$

Испарение с леса определяется по традиционной схеме как сумма трех составных частей [8, 16]:

$$E_f = E_t + E_i + E_s, \quad (2)$$

где E_t — транспирация древостоем, мм; E_i — испарение задержанных пологом леса атмосферных осадков, мм; E_s — испарение с наземного покрова, мм.

Испарение непосредственно с вырубки предлагается определять, используя равенство:

$$E_{cl} = k_s E_s, \quad (3)$$

где k_s — переходный коэффициент от испарения под пологом леса к испарению с вырубки.

После подстановки (2) и (3) в (1) и простых преобразований получается уравнение для оценки изменения испарения после воздействия в следующем виде:

$$dE = E_s (k_s - 1) - (E_t + E_i). \quad (4)$$

Уравнение для оценки изменения годового стока получено как разность водно-балансовых уравнений, решаемых относительно стока для периодов после и до воздействия для усредненных за многолетний период метеорологических условий. После соответствующих преобразований оно приобретает следующий вид:

$$dY = Y_{cl} - Y_f = (P_{cl} - P_f) - (E_s (k_s - 1) - (E_t + E_i)) + dY_{clf}, \quad (5)$$

где Y_{cl} и Y_f — сток с вырубki и с этого же участка леса до воздействия, соответственно, мм; P_{cl} и P_f — осадки, выпадаемые на рассматриваемый участок леса после и до воздействия, соответственно, мм; dY_{clf} — изменение стока, вызванное нарушениями водно-физических свойств почвогрунтов лесозаготовочной техникой.

Изменение стока в первый год в связи с снижением наименьшей влагоемкости (максимальное количество влаги, которое удерживается в почвогрунтах при свободном дренировании) почвогрунтов из-за их уплотнения можно ожидать на участках работы лесозаготовительной техники (на волоках и в пределах погрузочных пунктов) [5]. Поскольку в таежной зоне в период весеннего половодья происходит, как правило, насыщение почвогрунтов до наименьшей влагоемкости [1, 9], то можно ожидать, что в первый год после лесозаготовительных работ потери весеннего стока на заполнение почвогрунтов будут меньше, чем в предыдущий на величину, равную разности наименьших влагоемкостей до и после воздействия. Однако в соответствии с существующими правилами лесозаготовительные работы должны выполняться такими методами, при которых оказывается минимальное воздействие на почвы. Рекомендуется выполнять работы в зимний период, когда почвогрунты промерзшие, а в летний период укладывать на поверхность волоков порубочные остатки и применять для транспортировки древесины машины, оказывающие минимальное воздействие на почвы [12]. Все это значительно снижает степень уплотнения почвогрунтов и мощность преобразуемого слоя, которая и без указанных выше мероприятий, судя по литературным данным, ограничивалась 30–40 см [5]. Выполненные расчеты показали, что при самых неблагоприятных условиях изменение стока в целом для вырубki, где около 30 % занято волоками и погрузочными пунктами [12], ограничивается 10–12 мм [5]. Следовательно, при условии выполнения предписываемых требований, величину dY_{clf} можно принимать близкой к нулю.

Существуют мнения о влиянии полян и вырубок и их размеров на количество выпадающих осадков [16, 17]. Однако оценить это влияние в настоящее время не представляется возможным, и в большинстве случаев роль данного фактора в пространственном распределении осадков ограничивается точностью измерений и расчетов. Поэтому осадки принимаются нами до и после воздействия неизменными. В таком случае уравнения (5) представляется в следующем виде:

$$dY = -(E_s(k_s - 1) - (E_t + E_i)). \quad (6)$$

Транспирация древостоем за год определяется по зависимости [8]:

$$E_t = k_r m, \quad (7)$$

где m — масса листвы в свежем виде, т/га; k_r — коэффициент транспирационной активности, равный для сосны, ели и березы 19, 8,5 и 35 мм/т соответственно [7].

Масса листвы вычисляется по зависимости [10], представленной нами ранее в формализованном виде [7]:

$$m = MKc \exp(-fh), \quad (8)$$

где M — запас стволовой древесины, м³/га; h — средняя высота древостоя, м; K — коэффициент, показывающий долю листового аппарата в общем запасе древесной зелени (мелкие сучья и листва или хвоя) и равный для сосны 0,78, для ели — 0,60, для березы — 0,56; c, f — коэффициенты регрессии, равные соответственно для сосны 0,29, 0,10; для ели — 0,81, 0,099 и для березы — 0,30, 0,083.

Испарение с наземного покрова под пологом леса рассчитывается по эмпирической формуле [5]:

$$E = 0,8E_0 \exp(-0,3LAI), \quad (9)$$

где E_0 — испаряемость, рассчитанная по методу Будыко-Зубенок [15], мм; LAI — листовой индекс, га/га.

Листовой индекс определяется по соотношению [5]:

$$LAI = k_l m, \quad (10)$$

где k_l — переходный коэффициент, равный для сосны — 0,35; для ели — 0,28 и для березы — 0,62 га/т [2].

Годовая величина испарения осадков с полога леса определяется по уравнению:

$$E_i = E_{il} + E_{iws} + E_{ia}, \quad (11)$$

где E_{il} — испарение осадков с крон древостоя в теплый период, мм; E_{iws} — испарение снега с полога леса, мм; E_{ia} — испарение осадков с полога леса в переходный период, когда равновероятно выпадение жидких и твердых осадков, мм.

Для расчета суммарного испарения осадков с крон за теплый период используется формула [5]:

$$E_{il} = k_{Ei} P_{il} \ln(m+1), \quad (12)$$

где P_{il} — количество осадков за расчетный период, мм; k_{Ei} — коэффициент, равный для сосняка, ельника и березняка соответственно 0,105, 0,100 и 0,108.

В период, когда снег лежит на кронах, что в таежной зоне наблюдается большую часть зимнего периода, испарение с полога хвойного древостоя определяется по формуле [5]:

$$E_{iws} = 0,065dLAI n, \quad (13)$$

где d — дефицит влажности воздуха гПа/сут; n — продолжительность расчетного периода, сут.

Испарение с полога лиственного древостоя в период с отрицательными температурами, а также в переходный период при отсутствии листвы принимается равным 1 % от величины осадков [8]:

$$E_{iws} + E_{ia} = 0,01C_M (P_{iws} + P_{ia}), \quad (14)$$

где P_{iws} , P_{ia} — осадки за период с отрицательными температурами и за переходный период, соответственно, мм; C_M — доля лиственных пород от общего запаса древостоя, указанная в таксационных описаниях.

В переходный период испарение с хвойного как и с лиственного леса рассчитывается по формуле, предложенной О.И. Крестовским [8]:

$$E_{ia} = 0,01mP_{ia}. \quad (15)$$

Солнечную радиацию в таежной зоне при достаточно высоком увлажнении можно рассматривать в качестве основного фактора, определяющего интенсивность испарения как с наземного покрова под пологом леса [14], так и с вырубки. Следовательно, возрастание испарения с наземного покрова в первый год после удаления древостоя при практически одинаковых величинах массы и проективного покрытия наземной растительности до воздействия и после него [11] в большой степени объясняется увеличением поступления лучистой энергии солнца. В этом случае можно принять, что соотношение суммарной солнечной радиации, поступающей к поверхности земли на вырубке и к наземному покрову под полог леса пропорционально соотношению испарения с соответствующих поверхностей. Это позволяет для определения коэффициента k_s использовать функцию того же вида, как и для определения проникающей сквозь крону суммарной солнечной радиации [14]. Поскольку оценивается процесс увеличения испарения, то для этого соотношения аргумент экспоненты будет положительным.

Коэффициент k_s можно определять по данным наблюдений за испарением под пологом леса и на открытых участках. Нужно отметить, что в настоящее время имеются данные, оценивающие это соотношение испарений [13, 20], однако в большом числе случаев не приводятся характеристики древостоя, позволяющие определять величину листового индекса. На рис. 1 показано увеличение коэффициента k_s с ростом листового индекса, что, с учетом вышеприведенных рассуждений, позволяет представить эту зависимость в следующем виде:

$$k_s = E_{cl} / E_s = \exp(0,18LAI). \quad (16)$$

Нужно отметить, что разброс точек на рис. 1 в большой степени характеризует точность определений листового индекса и соотношений испарений. При расчете по формуле (16) для возможных значений LAI от 1 до 7 соотношение испарений (k_s)

меняется от 1,2 до 3,5, что вполне соответствует приведенным в литературных источниках результатам наблюдений. В частности, приведенные в [13] значения k_s для различных поверхностей (различные виды растений и их отсутствие) варьируют от 1,4 до 3,3.

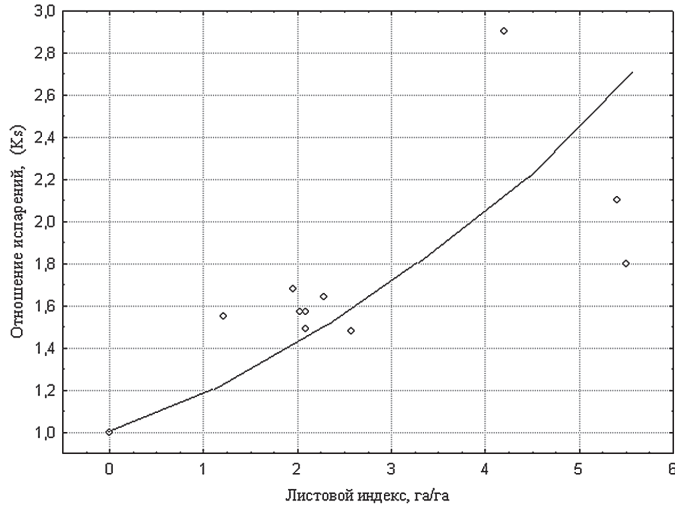


Рис. 1. Зависимость отношений испарений с открытого участка и под пологом леса от листового индекса.

Близкое по абсолютной величине значение коэффициента экстинкции (0,2) при переходе от испарения с открытого участка к испарению под пологом хвойного леса было получено для зимнего периода [5]. Важным периодом в таежной зоне является весеннее половодье, когда водотоки проносят значительную часть годового объема воды, поступающей с водосбора. Объем весеннего стока в большой степени зависит от величины предвесенних снеготпасов. В этой связи интерес представляет оценка роли рубок в формировании снежного покрова. В наибольшей степени влияние таких воздействий будет проявляться в хвойных лесах.

Влияние вырубок и их размеров на количество выпадающих зимних осадков не учитывается, вследствие низкой точности существующих оценок, не превышающих точности измерения осадков и определения снеготпасов. Поэтому зимние осадки принимаются нами до и после воздействия неизменными. С учетом этого и, основываясь на воднобалансовом подходе, уравнение для оценки влияния лесозаготовок на снеготпасование в хвойных лесах можно представить в следующем виде:

$$dS = S_{cl} - S_f = -(E_{swcl} - E_{swf}) - (H_{cl} - H_f) + E_{iws}, \quad (17)$$

где S_f и S_{cl} — максимальные снеготпасы на участках, покрытом древостоем и на безлесном, соответственно, мм; E_{iws} — испарение осадков с полога леса, мм; E_{swf} и E_{swcl} — испарение с наземного покрова под пологом леса и с безлесного участка, соответственно, мм; H_f и H_{cl} — слои стаявшего снега в период оттепелей с лесного и с безлесного участков, соответственно, мм.

Испарение с безлесного участка рассчитывается по рекомендованной в [15] формуле:

$$E_{swcl} = 0,37dn. \quad (18)$$

Испарение с наземного покрова под пологом леса определяется по формуле [5]:

$$E_{swf} = E_{swcl} \exp(-0,2LAI). \quad (19)$$

Для вычисления испарения снега с полога леса используется приведенная выше формула (13). Оценка влияния оттепелей на разницу снегозапасов в лесу и в поле осуществляется с помощью эмпирической формулы [5]:

$$H_f - H_{cl} = 0,39 + 1,9 \sum t_{>0}, \quad (20)$$

где $\sum t_{>0}$ — сумма положительных среднесуточных температур за период снегонакопления.

Уравнение (17) с учетом (13), (18)–(20) можно использовать для оценки влияния лесозаготовок, а также и лесных пожаров на формирование максимальных снегозапасов в хвойных лесах Европейского Севера России.

Полученные результаты и их анализ

Отсутствие возможностей экспериментальных проверок метода в целом предполагает необходимость в подробном обосновании результатов расчетов и получаемых на основании их выводов. Степень изменения годового стока после рубок определяется снижением испарения из-за удаления древостоя (уравнения (4) и (6)), поэтому основное внимание при анализе уделялось исследованию влияния различных факторов на величину изменения годового испарения.

При анализе предлагаемого метода и расчета преобразования элементов водного баланса после рубок использовались таксационные показатели лесов южной тайги, которые в свое время были любезно предоставлены нам А.А. Книзе и О.И. Крестовским. Эти данные охватывают практически все основные типы леса южнотаежной подзоны, различающиеся по составу образующих их пород и по продуктивности древостоя. Продуктивность древостоя, количественной характеристикой которой является класс бонитета, является важным фактором формирования испарения с леса. Полученные нами и приведенные здесь величины изменения испарения отражают, в пределах точности предлагаемого метода, большую часть всего спектра возможных оценок влияния рубок на водный баланс лесных участков, различающихся классами бонитета, в конкретных природных условиях.

При анализе также использовались характеристики лесов Карелии, взятые из работ [2, 3, 4]. Значимым аргументом, определяющим степень изменения испарения после рубки в предложенном методе оценки, является листовой индекс. Возможность использования его в качестве такого показано выше как на уровне теоретических рассуждений, так и при анализе эмпирических данных (см. рис. 1).

Удаляемая в результате рубок листва (хвоя) определяет транспирацию и испарение осадков с полога леса, составляющих в большинстве случаев 65–85 % от суммарного испарения. Эти же части суммарного испарения с леса составляют значительную долю в величине изменения испарения, что и определяет наличие связи между суммарным испарением с леса и его изменением после удаления древостоя (рис. 2). Зависимости, приведенные на рис. 2, были построены для чистых древостоев (наличие в конкретном древостое только одной породы), поэтому связи получились тесные.

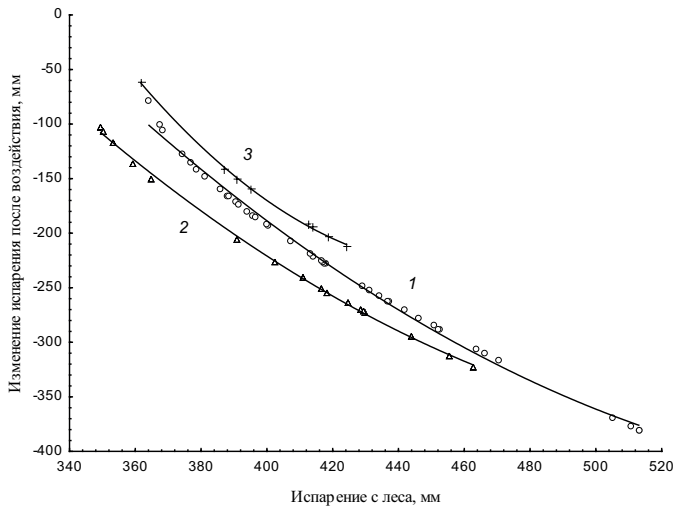


Рис. 2. Зависимость величины изменения испарения от суммарного испарения с леса до воздействия (1 — сосняк, 2 — ельник, 3 — березняк).

Наличие такой зависимости свидетельствует, в некоторой степени, о влиянии продуктивности леса на изменение испарения после удаления древостоя. Продуктивность леса определяется плодородием почв. Улучшение плодородия почв сопровождается увеличением для одновозрастного древостоя как общей фитомассы, так и ее частей, в том числе и массы листового аппарата, а следовательно, увеличением испарения с леса и его изменения после рубок. Зависимость массы листвы (хвои) от продуктивности леса показана в [5].

При лесозаготовках удаляют, как правило, спелый древостой, но поскольку существуют другие средства очистки лесного участка от древесной растительности (лесные пожары, вредители), то рассматривалось также влияние возраста леса на изменение испарения.

Влияние продуктивности и возраста древостоя представлено в табл. 1, где показано, что значения максимального изменения испарения в различных лесах после воздействия увеличиваются в большинстве своем с улучшением условий роста деревьев (уменьшение класса бонитета). Кроме того, возраст, в котором наблюдаются максимальные изменения испарения, так же как и наивысшее за период роста леса суммарное испарение [5], уменьшается с увеличением продуктивности древостоя

(табл. 1). Такое явление объясняется тем, что лес, растущий в лучших условиях, раньше достигает наибольших значений фитомассы и ее прироста, поэтому максимальное влагопотребление в нем отмечается в возрасте 30–50 лет. Худшие условия роста обуславливают замедленный рост, поэтому возрастание испарения в низкопродуктивных лесах продолжается до 100–120 лет. Нужно отметить, что высокие значения испарения в молодом возрасте в смешанных хвойных лесах объясняются еще наличием в их составе существенной доли березы и осины, характеризующихся более быстрым ростом, чем сосны и ели.

Таблица 1

Максимальные величины изменения испарения в различающихся по продуктивности и по условиям произрастания лесах после воздействий

Класс бонитет	Сосна		Ель		Береза	
	Возраст, лет	Изменение испарения, мм	Возраст, лет	Изменение испарения, мм	Возраст, лет	Изменение испарения, мм
Va	110	–152				
V	90	–159	100	–232		
IV	60	–163	70	–251	70	–192
IV	40	–220				
III	40	–210	50	–263	60	–219
III	40	–247	40	–284	50	–219
III	40	–255	40	–263	50	–224
II	30	–267	40	–294	40	–239
II	30	–316	30	–258	40	–226
II					40	–258
I	30	–287	30	–292	30	–241

Влияние продуктивности леса практически для всего спектра классов бонитета лесных участков различных пород на максимальную величину изменения испарения оценивается в 60–200 мм. Наибольшая амплитуда изменения этой величины характерна для сосняков. Это обусловлено, по-видимому, различиями в составе древостоев. Низкопродуктивные сосняки на 80–90 % представлены основной породой, в то время как участие быстрорастущих лиственных пород в функционировании ельников, обеспечивающих древостой высокими показателями листового аппарата, составляет 40–50 %.

Амплитуда колебаний величин изменения испарения в однобонитетных лесах несколько меньше и составляет 20–40 мм, а в отдельных случаях превышает 50 мм. Эти колебания обусловлены, в основном, различием состава и полноты древостоя, а в большей степени возрастными различиями пород, его составляющих.

Представленные в табл. 1 данные можно рассматривать как потенциальные величины изменения испарения в каждом возрастном ряду однобонитетного древостоя,

которые могут наблюдаться после удаления деревьев. В большинстве случаев при лесозаготовках значения изменения испарений представляют собой некоторую часть всего этого спектра. Зависимость возрастной динамики испарения с леса от продуктивности древостоя обуславливает сглаживание величин его изменения после рубок. В низкопродуктивных лесах изменения испарения после рубок будут близки к величинам, указанным в табл. 1, а в высокопродуктивных лесах оценки будут меньше представленных. Возможные величины изменений испарений после рубок приведены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение испарения после воздействия в различных по продуктивности и по условиям произрастания лесах в возрасте рубки (сосна и ель — 100 лет, береза — 80 лет)

Класс бонитет	Сосна		Ель		Береза	
	Изменение испарения		Изменение испарения		Изменение испарения	
	мм	%	мм	%	мм	%
Va	-151	-39				
V	-158	-38	-237	-52		
IV	-128	-32	-246	-55	-189	-44
IV	-198	-44				
III	-146	-35	-254	-55	-205	-47
III	-190	-43	-230	-52	-206	-46
III	-204	-45			-213	-48
II	-176	-40	-221	-50	-205	-46
II	-214	-47	-200	-47	-200	-46
II					-212	-47
I	-211	-49	-185	-44	-184	-43

Изменение испарения в результате воздействия существенно зависит от возраста леса. Это видно из сравнения данных, представленных в табл. 1, 2. В табл. 3 показана возрастная динамика изменения испарения после удаления древостоя в средних по продуктивности для условий Карелии лесах. Таксационные характеристики для расчетов взяты из таблиц хода роста, разработанных в Институте леса КарНЦ для распространенных в Карелии типов леса. Особенностью рассматриваемых древостоев является то, что они чистые (отсутствуют другие породы) и полнота их (степень плотности стояния деревьев на единице площади) одинакова для всех пород и возрастов.

Наименьшее изменение испарения отмечается в молодняках. Рост величины изменения испарения в древостое III.5–IV.5 классов бонитета продолжается до возраста 70–80 лет (табл. 3). В более продуктивных лесах рост этой величины оканчивается в 30–50 лет, а в низкопродуктивных растягивается до 100 лет и более.

Таблица 3

Изменение испарения после воздействия в различных по возрасту сосняках, ельниках и березняках

Возраст, лет	Сосняк брусничный, III.7 класса бонитета		Ельник брусничный, IV.1 класса бонитета		Березняк злаково-брусничный, III.4 класса бонитета	
	Изменение испарения		Изменение испарения		Изменение испарения	
	мм	%	мм	%	мм	%
10					-41	-11
20	-107	-27	-72	-21	-103	-28
30	-152	-37	-124	-35	-166	-42
40	-193	-45	-177	-47	-207	-49
50	-216	-49	-220	-55	-229	-53
60	-229	-51	-251	-60	-237	-54
70	-229	-51	-266	-62	-240	-54
80	-223	-50	-266	-63	-238	-54
90	-217	-49	-265	-62	-234	-54
100	-212	-48	-258	-61	-229	-53
120	-205	-47	-245	-59		
140	-200	-46	-242	-59		
160	-198	-46	-241	-59		

Во многих работах ранее было показано, что соотношение снегозапасов в лесу и на открытых участках в большой степени зависит от таксационных характеристик леса и метеорологических условий в зимний период. Нужно отметить, что существуют еще не полностью освещенные вопросы, касающиеся особенностей формирования снежного покрова в поле и в лесу. Однако в настоящее время можно с большой долей уверенности утверждать, что огромное влияние на соотношение снегозапасов оказывают зимние оттепели [5, 19, 22].

Влияние таксационных характеристик наиболее заметно в безоттепельные периоды. Расчеты по (17) свидетельствуют, что в лесах с сравнительно низкой полнотой ($LAI \leq 3$ га/га) снегонакопление практически не меняется после удаления древостоя (разница снегозапасов составляет от -1 до +1 мм). С увеличением полноты древостоя возрастают потери снега на испарение с крон сосняков и ельников (практически весь период снегонакопления характеризуется наличием твердой влаги на кронах), что способствует большему накоплению снега на открытом участке. Однако отрицательная роль хвойного древостоя в снегонакоплении при наиболее часто встречающихся значениях листового индекса от 3 до 8 га/га ограничивается 10 мм. Данные значения относятся к одинаковым метеорологическим условиям и одинаковой продолжительности снегонакопления в лесу и на вырубке.

Более заметное влияние на разницу снегонакопления в лесу и на открытом участке оказывают зимние оттепели. Суммарная продолжительность оттепелей за период со снежным покровом, в частности, в южной Карелии, может достигать 20 суток. При

этом сумма среднесуточных положительных температур составляет 5–15°C, но в отдельные годы превышает 20°C. Поскольку наиболее интенсивно снеготаяние протекает на открытых участках, то в зимние сезоны с оттепелями на вырубках снега накапливается меньше, чем под кронами деревьев. При сумме положительных температур 5°C в зависимости от величины листового индекса превышение лесных снеготаяний составляет 0–10 мм, при сумме температур 10°C — 10–20 мм, а при сумме 25°C — 40–50 мм или 30–35 %. В зимние сезоны с оттепелями, как и в безоттепельные периоды, роль листового индекса ограничивается 10 мм. Так, например, при сумме положительных температур 20°C с увеличением листового индекса от 3 до 8 га/га разница в снеготаянии меняется от –37 до –28 мм.

В результате многолетних наблюдений в южной Карелии было установлено, что осушение для сельскохозяйственного производства залесенных болот сопровождается снижением максимальных запасов воды в снеге до 38–41 мм (35–36 %) [6], что вполне соответствует вышеприведенным результатам расчетов по (17). Следовательно, увеличение на залесенном водосборе площади открытых (без древостоя) участков может привести в отдельные зимние сезоны к существенным изменениям условий формирования зимнего и весеннего стока, что будет особенно заметно на малых водосборах.

Выводы

На основании предложенного метода оценки установлено влияние на величину изменения испарения с леса после сплошных рубок продуктивности и возраста древостоя. Наименьшие изменения происходят после удаления молодого низкопродуктивного древостоя. С увеличением его возраста и повышением продуктивности снижение испарения с лесного участка после воздействия достигает 300 мм. Основным фактором увеличения стока с вырубки в первый год после воздействия является снижение испарения.

Изменение объема предвесенних снеготаяний на лесном водосборе после воздействия зависит от таксационных характеристик удаленного древостоя и зимних оттепелей, причем роль последнего фактора является наиболее ощутимой и возрастает с увеличением суммы положительных температур за период снеготаяния.

Литература

1. Булавко А.Г. Водный баланс речных водосборов. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 304 с.
2. Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С. и др. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. — Л.: Наука, 1977. — 304 с.
3. Казимиров Н.И., Морозова Р.М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. — Л.: Наука, 1973. — 179 с.
4. Казимиров Н.И., Морозова Р.М., Куликова В.К. Органическая масса и потоки веществ в березняках средней тайги. — Л.: Наука, 1978. — 216 с.
5. Карпечко Ю.В., Бондарик Н.Л. Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне Европейского Севера России. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. — 225 с.
6. Карпечко Ю.В., Нестеренко И.М. Водный и тепловой режим осушаемых болот и заболоченных земель Карелии. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1996. — 120 с.
7. Карпечко Ю.В., Саковец В.И. Постмелиоративные изменения элементов водного баланса водосборов Карелии. // Водные ресурсы, 1997, т. 24, № 3, с. 266–269.

8. *Крестовский О.И.* Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. — Л.: Гидрометеоздат, 1986. — 118 с.
9. *Крестовский О.И.* Принципы оценки и прогноза потерь весенних вод на водосборах Северо-Запада ЕТС. // Труды ГГИ, 1972, вып. 194, с. 46–61.
10. Лесотаксационный справочник. — М.: Лесная промышленность, 1980. — 288 с.
11. *Молчанов А.А.* Гидрологическая роль леса. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — 488 с.
12. Правила рубок главного пользования в равнинных лесах Европейской части Российской Федерации. — М., 1994. — 32 с.
13. *Протопопов В.В.* Средообразующая роль темнохвойного леса. — Новосибирск: Наука, 1975. — 328 с.
14. *Раунер Ю.Л.* Тепловой баланс растительного покрова. — Л.: Гидрометеоздат, 1972. — 210 с.
15. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. — Л.: Гидрометеоздат, 1976. — 96 с.
16. *Федоров С.Ф.* Исследование элементов водного баланса в лесной зоне Европейской территории СССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1977. — 264 с.
17. *Федоров С.Ф.* О влиянии вырубки леса на изменение элементов его водного баланса. // Труды ГГИ, 1979, вып. 258, с. 30–44.
18. *Федоров С.Ф., Марунич С.В., Буров А.С., Ральцевич Н.Д.* Изменение структуры водного и теплового баланса зеленых территорий под влиянием вырубок. // Труды ГГИ, 1981, вып. 279, с. 20–31.
19. *Шутов В.А.* Распределение запасов воды в снежном покрове на водосборах лесной зоны. // Метеорология и гидрология, 1994, № 9, с. 85–92.
20. Экологический режим сосновых биогеоценозов. — Минск: Наука и техника, 1988. — 160 с.
21. *Bosch J.M., Hewlett J.D.* A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. // J. of Hydrology, 1982, 55, p. 3–23.
22. *Koivusalo H., Kokkonen H.* Snow processes in a forest clearing and in a coniferous forest. // J. of Hydrology, 2002, 262, p. 145–164.
23. *Sun G., Riekerk H., Comerford N.B.* Modeling the hydrologic impacts of forest harvesting on Florida Flatwoods. // J. of the American water resources association, 1998, vol. 34, № 4, p. 843–854.