

Выводы. Экспериментально установлено, что вегетативный материал форзиции свисающей, взятый из городской среды, при введении в культуру *in vitro* требует более жесткой процедуры поверхностной стерилизации с применением нескольких стерилизующих агентов. Для инициации ризогенеза у эксплантов форзиции свисающей не требуется применение индукторов корнеобразования, укоренение происходит спонтанно в процессе культивирования. Коэффициент размножения в эксперименте составил 1:3.

Литература

1. Форзиция свисающая. – URL: http://www.greeninfo.ru/decor_trees/forsythia_suspensa.html, свободный.
2. Лапин П.И. Деревья и кустарники СССР. – М.: Мысль, 1966. – 637 с.
3. Царев А.П., Погиба С.П., Тренин В.В. Селекция и репродукция лесных древесных пород. – М.: Логос, 2003. – 520 с
4. Черевченко Т.М., Лаврентьева А.Н., Иванников Р.В. Биотехнология тропических и субтропических растений *in vitro*. – Киев: Наукова думка, 2008. – 559 с.



УДК 630.116

Т.П. Спицына, Т.М. Куприянова, Е.А. Охримов

ЛЕСОГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БАССЕЙНАХ МАЛЫХ РЕК ПРЕДГОРИЙ ВОСТОЧНЫХ САЯН*

В статье рассматриваются лесогидрологические процессы в бассейнах малых рек предгорий Восточных Саян. Сформулированы выводы и заключение о саморегулирующей способности экосистем.

Ключевые слова: лесистость, речной сток, модуль стока, гидрологический режим.

T.P. Spitsina, T.M. Kupriyanova, E.A. Okhrirov

THE FOREST HYDROLOGICAL PROCESSES IN THE SMALL RIVER BASINS OF THE EASTERN SAYAN FOOTHILLS

The forest hydrological processes in the small river basins of the Eastern Sayan foothills are considered in the article. The findings and the conclusion of the ecosystem self-regulatory capacity are stated.

Key words: forest land, river flow, flow module, hydrological mode.

Введение. Водосборы малых и средних рек являются хорошими индикаторами по оценке устойчивости их экосистем к деятельности человека. Лес стабилизирует речной сток. Этот вид влияния на водный режим прилегающей территории присущ всем лесам без исключения и определяется тем, что почвы под лесом меньше промерзают, они более водопроницаемы, а также тем, что снег в лесу тает медленнее. Задерживая таяние снегов, леса поддерживают и влажность почвы. Это приводит к тому, что значительная часть поверхностного стока переходит во внутриводосборный, период стока растягивается, пики речных паводков снижаются.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ. Номер проекта 15-07-0682. Название проекта «Моделирование процессов самоочищения водотоков в условиях резко континентального климата Центральной Сибири».

Вопрос о влиянии лесистости на годовой и сезонный сток в различных районах России изучался в течение многих десятков лет [1–5]. Противоречия в оценке гидрологического значения лесов традиционно относятся к объему речного стока [6]. Результатами наблюдений являются неоднозначные выводы и заключения.

Проанализировав исследования разных лет, можно сказать, что гидрологическая роль лесных экосистем находится в сложной и неразрывной связи с процессами влагооборота, по-разному функционирующими в различных ландшафтно-географических и погодно-климатических условиях. В связи с этим необходимы системные исследования лесогидрологических процессов, позволяющие объяснить противоречия.

Цель и объекты исследований. Количественная оценка лесных насаждений на гидрологический режим бассейнов р. Базаиха, Б.Слизнева и Лалетина.

Объектами исследований являлись абиотические (поверхностные воды) и биотические (древесная растительность) компоненты территории бассейнов рек Базаиха, Большая Слизнева и Лалетина.

В таблице 1 представлены основные характеристики исследуемых бассейнов рек. Территория водосборов имеет хорошо развитую гидрографическую сеть (0,63 км/км²) общей протяженностью более 100 тыс. км [6]. Можно видеть, что наибольшую площадь водосбора имеет р. Базаиха, а наименьшую р. Лалетина. Изучаемые малые реки протекают в сходных физико-географических условиях.

Таблица 1

Основные гидрологические характеристики бассейнов водотоков [7–10]

Река	Площадь водосбора, км ²	Длина, км	Лесистость*, %		Тип питания	Средняя высота от истока до устья, м
			1973г.	2010г.		
Базаиха	1000	128	97	83,8	Снеговой	524
Б. Слизнева	104	28	98	96,7		490
Лалетина	12,4	5,5	95	93,2		420

* Лесистость в 2010 г. была определена авторами.

Исследуемые водотоки располагаются близко друг от друга и в довольно однородных условиях, что и обуславливает единые близкие растительные, почвенные и климатические условия в бассейнах рек.

Оценка гидрологической функции лесных экосистем малых рек предгорий Восточных Саян для р. Базаиха и Б. Слизнева проводилась на основе данных о расходе воды, предоставленных Среднесибирским межрегиональным территориальным управлением Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. В р. Лалетина расход воды не определялся, и авторы в 2008–2009 гг. проводили собственные исследования по методике Б.В. Бабикова, основанной на измерении скорости течения и живого сечения потока [11]. Климатические параметры территории предоставлены ФГБУ «Государственный заповедник «Столбы»

Результаты исследований. Динамика расхода воды за исследуемый период представлена на рисунке 1. Анализ данных по расходу воды показывает, что средние значения пропорциональны площади бассейнов рек и отличаются на один порядок. Пик паводков у всех водотоков проходит с начала апреля по конец июня. Для р. Базаиха половодье более продолжительное. Зимняя межень наступает в конце октября – начале ноября. В этот период наблюдается наименьший расход воды, что связано с отсутствием жидких осадков, реки полностью покрываются льдом. Для определения расхода воды зимой на р. Лалетина делались проруби.

Определение модуля стока необходимо, чтобы понять, какое количество воды стекает с одного квадратного километра территории бассейна реки. Модуль стока определяется по формуле [11]

$$M = \frac{Q}{F}, \quad (1)$$

где Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; F – площадь водосбора, км^2 .

Значение модуля стока по гидрологическим периодам представлено на рисунке 2. Для исследуемых водотоков этот параметр различен. Наибольший по времени и продолжительности модуль стока наблюдается для р. Базаиха. Причинами являются больший по площади бассейн и особенности рельефа водосбора – в нижнем течении реки с высокого Торгашинского хребта весной наблюдается быстрый сход твердых осадков. Для р. Лалетина характерен более низкий уровень паводковых вод из-за наименьшей площади бассейна и более пологого рельефа. В таблице 2 приведены данные расчета модуля стока. Из-за большего количества осадков в 2009 г. модуль стока в этот год больше для всех водосборов.

Таблица 2

Гидрологические характеристики стока бассейнов рек

Параметр	Река		
	Базаиха	Б. Слизнева	Лалетина
Средний расход воды за 2000–2009 гг., $\text{м}^3/\text{с}$	6,6541	0,7254	–*
Средний расход воды в 2008 г., $\text{м}^3/\text{с}$	6,8983	0,5949	0,0338
Средний расход воды в 2009 г., $\text{м}^3/\text{с}$	7,5733	0,7585	0,0585
Средний модуль стока за 2000–2009 гг., $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$	0,0067	0,0070	–*
Средний модуль стока в 2008 г., $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$	0,0069	0,0057	0,0027
Средний модуль стока в 2009 г., $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$	0,0076	0,0073	0,0047

* Гидрологические исследования р. Лалетина впервые проводились авторами в 2008–2009 гг.

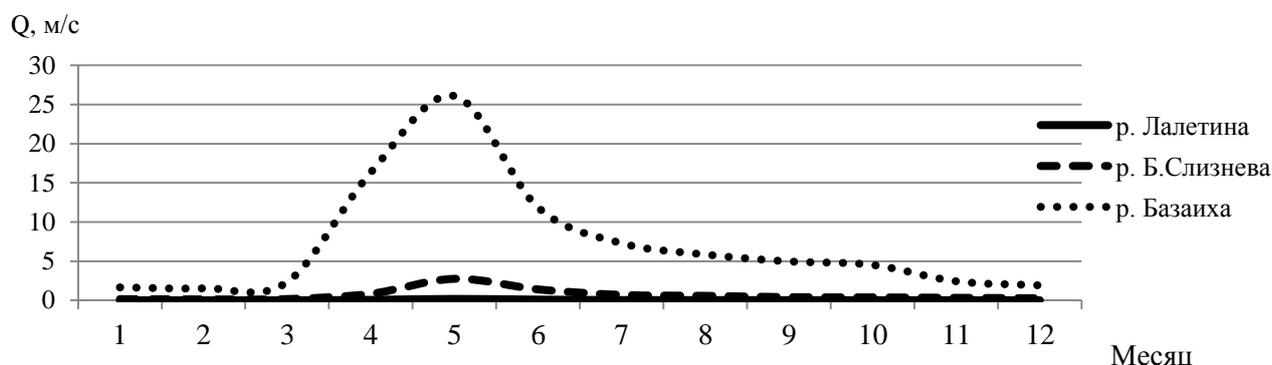


Рис. 1. Средний расход воды рек (2008–2009 гг.)

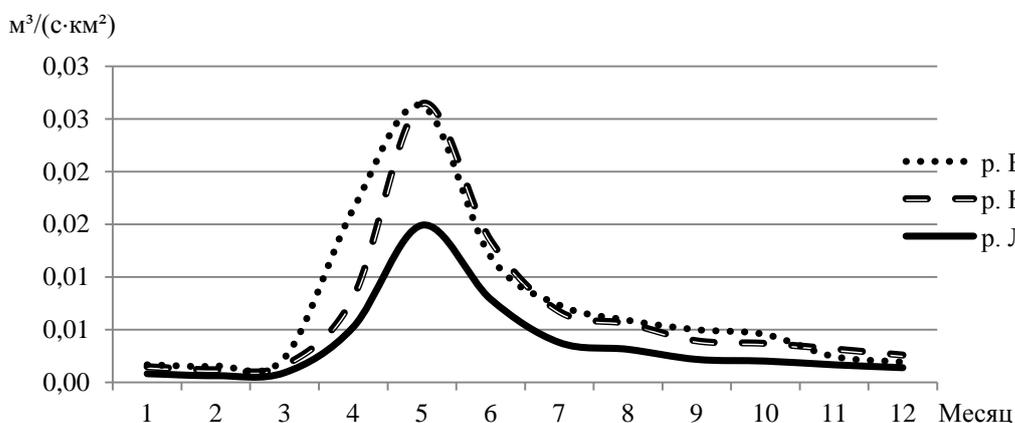


Рис. 2. Средний годовой модуль стока рек (2008–2009 гг.)

Чтобы судить о водном балансе лесного угодья, надо знать, сколько осадков проникает сквозь полог древесных пород. Зная это, можно, регулируя состав, форму и полноту древостоев, улучшать водный режим лесов.

В речном бассейне осуществляется расходование влаги с перераспределением её на сток и испарение в зависимости от количества выпавших осадков и всего комплекса физико-географических факторов. Расходование влаги речного бассейна происходит согласно уравнению водного баланса

$$\Delta S = P - Y - E, \quad (2)$$

где ΔS – общее изменение запасов воды в бассейне; P – атмосферные осадки, выпавшие на водосбор; Y – речной сток в замыкающем створе; E – суммарное испарение с бассейна [3].

В результате анализа и обработки данных были рассчитаны основные параметры уравнения водного баланса (табл. 3). Уровень годовых осадков за рассматриваемые два года немного разный: в 2008 году – 686,3 мм; в 2009 г. их выпало больше – 771,6 мм. Сравнение среднесезонных расходов рек с рассматриваемым периодом (табл. 2) показывает, что расход воды меняется незначительно и зависит от количества осадков для р. Базаиха и Большая Слизнева (многолетние данные для р. Лалетина отсутствуют).

Таблица 3

Основные параметры уравнения водного баланса

Средние расчетные характеристики за 2008–2009 гг.	р. Базаиха	р. Б.Слизнева	р. Лалетина
Уровень годовых сумм осадков, мм	-	729,0	-
Среднегодовой слой стока с бассейна, мм	229,7	205,2	117,4
Слой стока, весенний паводок, мм	143,7	126,2	73,8
Слой стока, лето, мм	66,2	67,8	39,0
Слой стока, осень, мм	10,5	9,5	5,2
Слой стока, зимняя межень, мм	19,7	18,2	10,0
Коэффициент стока, %	31,5	28,0	15,9
Суммарное испарение, мм	499,2	523,8	611,6

Слой стока обладает универсальностью, так как помогает понять, какое количество воды стекает с бассейна реки: один миллиметр слоя стока соответствует одному литру с одного квадратного метра. Этот параметр наглядно показывает, что при увеличении количества осадков экосистема водосбора может переводить большее количество поверхностного стока в подземный или испарять. В ряду Базаиха–Б.Слизнева–Лалетина уменьшается слой стока до 2,0 раза для р. Лалетина. Это связано с тем, что в рассматриваемом ряду также уменьшается площадь бассейна и высота водосбора с 524 м для р. Базаиха до 420 м для р. Лалетина (табл. 1). Слой стока по гидрологическим фазам имеет большую неравномерность в его распределении, он также уменьшается в этом ряду, достигая разницы в 2,0 раза для р. Лалетина в весенний паводок (табл. 3).

Анализ временной динамики (рис. 3) показывает, что при весеннем паводке сток воды неравномерен в бассейне р. Лалетина: за рассматриваемые два года он увеличился до 2,2 раза (в 2009 г.). На водосборе р. Б.Слизнева данный параметр вырос только в 1,6 раза. Практически нет значительных временных изменений для р. Базаиха. Для периода зимней межени изменения для всех рассматриваемых водосборов незначительны (рис. 3). Можно судить, что бассейн р. Базаиха более стабилен по отношению к таким абиотическим факторам среды, как осадки, а сток не подвержен значительным изменениям. Значительные скачки параметров гидрологического цикла р. Лалетина весной свидетельствуют о его деформировании.

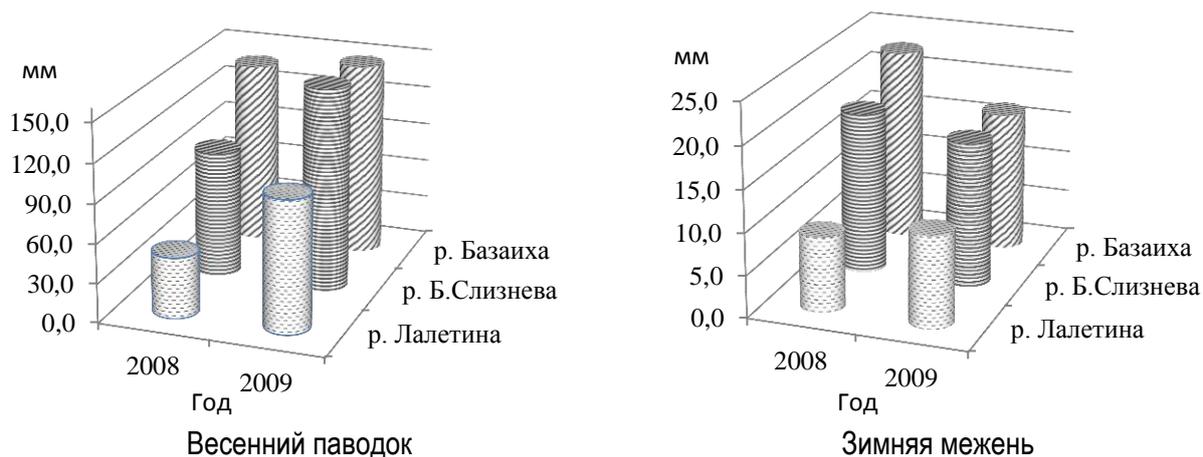


Рис. 3. Временная динамика слая стока рек

Коэффициент стока показывает, какая часть осадков расходуется на пополнение водности рек. Это отношение величины стока к величине выпавших на площадь бассейна реки осадков. Из представленных водосборов р. Базаиха имеет наибольшее значение этого параметра. Исходя из таблицы 3, можно сделать вывод, что из общего количества осадков, выпавших на территории бассейна Базаиха, в среднем 31,5 % вошли в русло реки и составили речной сток. Данный параметр также связан с площадью бассейна и уменьшается в рассматриваемом ряду.

Потеря воды лесом включает как транспирацию растений, так и испарение с почвы. Совокупность этих процессов обычно называют эвапотранспирацией (суммарное испарение). На рассматриваемой территории около 1/4 всех осадков уходит в виде стока рек, а 3/4 возвращается в атмосферу посредством эвапотранспирации. Полученные данные сопоставимы с классическими работами [12]. Наблюдается увеличение испарения с уменьшением площади бассейна водотока. Для р. Лалетина выявлена наибольшая испаряемость с территории. Причиной могут быть антропогенные факторы (наличие разветвленной тропиной сети и рекреационная нагрузка), абиотические компоненты среды (особенности почв, родникового питания, рельеф местности) и биотические – площадь леса и его состав, что и будет рассмотрено ниже.

Выявлена четкая закономерность изменения параметров уравнения водного баланса в ряду рек Базаиха–Б.Слизнева–Лалетина: все характеристики уменьшаются, кроме суммарного испарения. Таким образом, лимитирующими факторами водного баланса рассматриваемых водотоков являются абиотические – высота падения от истока до устья и площадь бассейна. Также причиной разницы обсуждаемых характеристик является возрастной и породный состав древостоя (табл. 4).

На основе таксационных описаний заповедника «Столбы», Маганского, Красноярского и Дивногорского лесничеств определена формула состава древостоя в бассейне каждой реки и класс возраста (табл. 4).

Таблица 4

Количественные показатели древостоя бассейнов рек

Река	Формула состава	Класс возраста
р. Базаиха*	5С2П1Л1Е1Б+ ед.Ос	С(7)П(5)Л(7)Е(7)Б (7)Ос(7)
р. Б.Слизнева	3С3Е1П1Л1Б1Ос+ед.К	С(9)Е(7)П(6)Л(9)Б(9)Ос(8)К(5)
р. Лалетина	5С1Л1П2Б1Ос+ед.Е ед.К ед.Ив	С(7)Л(8)П(6)Б(10)Ос(10)К(2)

* Расчет сделан для устьевоего участка реки, так как территория бассейна занимает большую площадь.

Согласно формуле состава, на водосборе р. Базаиха 9 единиц хвойных пород (сосна, пихта, лиственница, ель), р. Б. Слизнева – 8 (сосна, ель, пихта, лиственница), тогда как в бассейне р. Лалетина 7 единиц хвойных пород (сосна, лиственница и пихта).

Процесс испарения и поглощения влаги растениями происходит одновременно, поэтому эти процессы трудно отделить один от другого. Чем гуще растительность, тем больше испарение.

Среди исследуемых пород водоёмкость распределяется следующим образом: сосна 0,14; лиственница 0,25; пихта 0,50; тополь и береза 0,67 [13]. Можно видеть, что наименьшая водоудерживающая способность у хвойных, наибольшая у лиственных.

С другой стороны, древостой влияет на степень задержания кронами осадков. Так, согласно А.В. Лебедеву, ель и пихта отличаются наиболее густым охвоением. Эти породы задерживают в среднем 37 % осадков [14]. Иными словами, если принять задержание осадков кронами ели за 100 %, то для сосняков и березняков эта величина выразится примерно в 50 %. Сосна и пихта имеют разветвленную корневую систему, позволяющую равномерно распределять поверхностный сток, переводя его в подземный. Ель имеет поверхностную корневую систему, что приводит к большему поглощению воды живым напочвенным покровом. В бассейне р. Б. Слизнева наибольшее количество ели, кроны и корневая систем которой задерживают осадки, поэтому присутствует небольшое обводнение местности.

По возрасту наиболее молодой древостой расположен в бассейне р. Базаиха, зеленая масса которого ассимилирует большое количество влаги для роста и развития, поэтому суммарное испарение там не велико (табл. 3). В бассейне р. Б. Слизнева присутствует большее количество хвойных насаждений спелого и переспелого класса возраста (см. табл. 4).

Определение современной площади леса в бассейнах рек осуществлялось с помощью программы Google Earth Pro (см. табл. 1). В работе использовались космоснимки Google Earth Pro со следующими датами съемки: с 8.28.2010 г. по 7.29.2012 г.

За последние 40 лет коэффициент лесистости существенно не изменился в рассматриваемых водосборах – уменьшился от 1,5 % для р. Б. Слизнева до 14 % для р. Базаиха. Согласно данным В.И. Рутковского, при лесистости 90–100 % коэффициент стока составляет 43–25 % [15]. Полученные в работе значения существенно меньше – 16–32 %, что говорит о хорошей саморегулирующей способности экосистем.

Таким образом, оптимальная лесистость должна устанавливаться в зависимости от состояния и целевого назначения площадей. В связи с этим при определении лесистости и разработке мер улучшения гидрологических условий территории необходимо учитывать заболоченности водосборных бассейнов и качество произрастающих на них лесов, их продуктивность. Лес во всех случаях оказывает сильное влияние на уменьшение поверхностного стока и переводит его во внутрипочвенный, который выклинивается в реки, ручьи и овраги. Выклинивающийся грунтовый сток изменяется в зависимости от величины водосборного бассейна: малые водосборы дают небольшой выклинивающийся поверхностный сток.

Лес способствует формированию водного стока, регулируя водность лесных водотоков. При вырубке леса на водосборе ухудшается распределение поверхностного стока, что приводит к иссушению рек и, как следствие, к возможным засухам при условии жаркого лета.

Результаты количественной оценки гидрологических функций леса рассматриваемых водотоков свидетельствуют, что наилучшими водоохранными свойствами обладает жизнедеятельный водосбор, отличающийся хорошо развитой, разветвленной корневой системой, содействующей хорошему проникновению влаги в почву, и разнообразным породным составом.

Выводы. Средние значения расходов воды пропорциональны площади бассейнов рек и отличаются на один порядок. Наибольший по времени и продолжительности модуль стока наблюдается для р. Базаиха. Причинами являются большой по площади бассейн и особенности рельефа водосбора. Для р. Лалетина характерен более низкий уровень паводковых вод из-за наименьшей площади бассейна и более пологого рельефа.

Результаты расчета основных параметров уравнения водного баланса показывают, что на рассматриваемой территории около $\frac{1}{4}$ всех осадков уходит в виде стока рек, а $\frac{3}{4}$ возвращается в атмосферу посредством эвапотранспирации, что согласуется с литературными данными.

Выявлена четкая закономерность изменения параметров уравнения водного баланса в ряду рек Базаиха–Б.Слизнева–Лалетина: все характеристики уменьшаются, кроме суммарного испарения. Таким образом, можно сказать, что лимитирующими факторами водного баланса рассматриваемых водотоков являются абиотические – высота падения от истока до устья и площадь бассейна.

На основе таксационных описаний заповедника «Столбы», Маганского, Красноярского и Дивногорского лесничеств определена формула состава древостоя в бассейне каждой реки и класс возраста. Лесные экосистемы представлены различными главными породами: сосна и пихта (Базаиха); сосна и ель (Б. Слизнева); сосна (Лалетина).

По возрасту наиболее молодой древостой расположен в бассейне р. Базаиха, зеленая масса которого ассимилирует большое количество влаги для роста и развития, поэтому суммарное испарение там меньше.

За последние 40 лет коэффициент лесистости существенно не изменился в рассматриваемых водосборах. Полученные в работе значения стока с водосборов значительно меньше, чем описано в литературе, что свидетельствует о хорошей саморегулирующей способности экосистем.

Литература

1. Булавко А.Г. Водный баланс речных водосборов. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 304 с.
2. Идзон П.Ф., Пименова Г.С. Влияние леса на сток. – М.: Наука, 1975. – 110 с.
3. Молчанов А.А. Гидрологическая роль леса. – М.: Акад. наук СССР, 1960. – 337 с.
4. Рахманов В.В. Гидрологическая роль лесов. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 240 с.
5. Рахманов В.В. Лесная гидрология. – М.: ВИНТИ, 1981. – 182 с. (Итоги науки и техники. Т. 3. Лесоведение и лесоводство).
6. Коляго С.А. Почвы Государственного заповедника «Столбы» // Тр. гос. заповедника «Столбы». – 1961. – Вып. 3. – С.197–247.
7. Гидрологическая изученность. Бассейн Енисея. – Л.: Гидрометеиздат., 1967. – Т. 16. – Вып. 1. – 822 с.
8. Материалы по гидрографии СССР: в 12 т. Т. 7. Бассейн Карского моря. Р. Енисей. – М., 1943. – Вып. 1. – 372 с.
9. Материалы по гидрографии СССР. Т. 7. Бассейн р. Енисей – Карское море. Р. Базаиха. – М., 1950. – Вып. 1. – 120 с.
10. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши: в 3 т. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – Т. 1. – Вып. 12. – 463 с.
11. Бабиков Б.В. Гидрологическая мелиорация. – СПб.: Лань, 2005. – 304 с.
12. Крамер П.Д., Козловский Т.Т. Физиология древесных растений: пер. с англ. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 464 с.
13. Молчанов А.А. Влияние леса на окружающую среду. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1973. – 352 с.
14. Лебедев А.В. Гидрологическая роль горных лесов Сибири. – Новосибирск: Наука, 1982. – 235 с.
15. Рутковский В.И. Обоснование лесохозяйственных мероприятий по усилению защитных водоохраных свойств леса. – М.; Л., 1948. – 43 с.

