

Г. Е. ПЯТЕЦКИЙ

**ВЛИЯНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ВЫРУБОК НА
ВСХОЖЕСТЬ, ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН И ПРИЖИВАЕМОСТЬ
ВСХОДОВ ХВОЙНЫХ ПОРОД**

Известно, что в условиях Севера после вырубки леса происходит процесс заболачивания. В отдельных естественно-географических районах это явление имеет широкое распространение. Процесс заболачивания сплошных вырубок изучался многими исследователями (Танфильев, 1889; Сукачев, 1926; Кошечев, 1934, 1955; Малянов, 1939; Дмитриев, 1950 и др.). В условиях южной Карелии заболачивание концентрированных вырубок изучалось нами в 1955—1957 гг. Было установлено, что одной из причин заболачивания вырубок является большое количество поступающих на ее поверхность как твердых, так и жидких осадков. По нашим исследованиям в почву вырубку поступает на 170 мм годовых осадков больше, чем в почву под пологом ельника-черничника. В то же время расход воды на транспирацию, вследствие вырубки леса, резко уменьшается. Так, по данным Кошечева (1955, Ленинградская область) однолетняя вырубка за вегетационный период испаряет 180—200 мм осадков. Следовательно, при годовом количестве осадков 570 мм приход влаги в почву вырубки на 370—400 мм превышает расход. Это при слабом оттоке воды в глубину почвы вызывает избыточное увлажнение.

Особенно сильное переувлажнение почвы имеет место на вырубках из-под ельника-долгомошника. По нашим исследованиям при количестве осадков близком к среднегодовому (570 мм) средняя годовая глубина уровня почвенно-грунтовых вод на 1—3-летней вырубке равна 13 см, на 7—9-летней — 12,5 см. Весной и осенью здесь продолжительное время почвенно-грунтовые воды стоят выше поверхности почвы (в моховом покрове) иногда на 5—10 см. Избыток воды вызывает ряд нежелательных физико-химических и биологических изменений в почве. В живом напочвенном покрове сильно разрастаются мхи (кукушкин лен, сфагнум). В результате этого ухудшаются как условия роста имеющегося на вырубке хвойного подроста, так и условия для последующего возобновления вырубок хвойными породами. С одной стороны на заболачивающихся вырубках создаются неблагоприятные условия для прорастания семян (вымокание, зависание семян в мощно развитом моховом покрове из кукушкина льна и сфагнума), с другой — происходит вымокание всходов хвойных пород.

Эти явления, хотя и имеют широкое распространение в природе, но в лесохозяйственной литературе освещены слабо. Особенно это касается вопроса вымокания семян и всходов. Имеющиеся немногие данные по вымоканию хвойных семян (Кошечев, 1955; Сибирева, 1955; Рубцов, 1955) были получены в основном в лабораторных условиях, а поэтому не могут объяснить характер этих явлений в естественной обстановке.

В связи с вышеизложенным при постановке исследований перед нами стояли задачи: во-первых, выяснить влияние избыточного увлажнения вырубок на всхожесть семян сосны и ели (вымокание семян); во-вторых, проследить приживаемость всходов хвойных в условиях избыточного увлажнения и, в-третьих, изучить влияние живого напочвенного покрова заболоченных вырубок на появление всходов сосны и ели.

Методика работы заключалась в сочетании полевых и лабораторных исследований. Полевые исследования проводились в Виданском лесничестве Петрозаводского лесхоза (южная Карелия) на девятидесятилетней вырубке из-под ельника-долгомошника в 1956—1957 гг.

Вначале рассмотрим влияние продолжительности пребывания семян хвойных в воде (на вырубках) на их всхожесть.

Методика опыта была следующая. Стандартные семена сосны и ели (всхожесть 90 и 94 %) закладывались в воду в микропонижениях на глубину 5—10 и 15—20 см в марлевых мешочках. В каждом мешочке помещалось 300 штук семян. Всего было заложено в воду таких мешочков 125. Семена вымачивались в течение двух месяцев. Ежедневно в 7 часов утра и в 14 дня измерялась температура воды. Через каждые 5—10 дней из воды извлекалось по 1200 штук семян сосны и ели и проращивались в аппарате Либенберга. Проращивание семян производилось в лабораторных условиях при переменной температуре воды от 18 до 35°C. Контролем служили семена той же партии, не подвергавшиеся вымачиванию.

Опыты производились с 5 мая по 25 июня 1956 г. и с 3 мая по 3 июля 1957 г.

В начале и конце опыта определялась рН воды. В 1956 г. рН воды была в начале опыта — 5 мая — 4,5, в конце опыта — 25 июня — 3,8; в 1957 г. рН воды была соответственно 3 мая — 5,88 и 3 июля — 6,20. Температура воды в начале опыта была 1—2°C и в конце — 17—23°C.

Результаты этих опытов показали, что семена сосны и ели при вымачивании их в воде в естественной обстановке практически потеряли всхожесть в 1956 г. через 52 дня, а в 1957 г. — через 61 день. Пребывание семян сосны в воде в течение 18—24 суток, а ели 30—39 суток практически не повлияло на их всхожесть¹. Так, например, сосна в 1956 г. за 18 дней при температуре воды в пределах +1° — +11°C понизила всхожесть всего на 14%, в 1957 г. за 24 дня — на 11%. Ель в 1956 г. за 39 дней понизила всхожесть на 6,7%, в 1957 г. за 30 дней — на 11% (табл. 1). В то же время опыты Сибиревой (1955), проводившиеся в лабораторных условиях при температуре воды 20—22°C, показывают, что семена ели уже через 38, а сосны через 17 дней потеряли всхожесть на 93%. Данные Кошечева (1955) аналогичны с данными Сибиревой. Результаты опыта Рубцова

¹ Максимальная суточная температура воды в этот период в разные дни колебалась от +1 до +11°C.

Таблица 1

Влияние продолжительности вымачивания семян в воде на их всхожесть

Год проведения опыта	Порода	Контроль (семена, не подвергавшиеся вымачиванию)	Продолжительность вымачивания в сутках												
			7	10	17	18	24	28	30	36	39	41	46	52	61
			Числа взятия проб семян на проращивание												
			13/V	13/V	20/V	23/V	27/V	3/VI	2/VI	8/VI	12/VI	13/VI	18/VI	25/VI	3/VII
всхожесть семян (%)															
1956	Ель	94,0	90,0	—	—	89,3	—	87,5	—	—	87,3	—	26,5	5,0	—
	Сосна	90,0	87,9	—	—	75,5	—	63,8	—	—	60,0	—	15,8	2,3	—
1957	Ель	94,0	—	91,7	92,7	—	93,6	—	83,0	68,5	—	60,3	42,0	30,5	21,0
	Сосна	90,0	—	78,0	82,0	—	79,4	—	60,8	30,1	—	21,5	16,8	13,0	3,5

(1955) показывают, что после 35-дневного пребывания в воде¹ семена сосны практически становятся невсхожими.

Такие различия в результатах опытов (наших и указанных авторов) объясняются разным температурным режимом воды, при котором проводились исследования. Следовательно, понижение всхожести семян хвойных при вымачивании зависит не только от продолжительности пребывания их в воде, но и от температуры последней. Чем выше температура воды, тем семена быстрее теряют всхожесть, причем сосна сильнее реагирует на повышение температуры воды и более энергично понижает всхожесть.

Как уже указывалось выше, при суточной максимальной температуре воды ниже +10°C (колебания в течение периода наблюдений от +1 до +10°) семена сосны и ели в естественных условиях продолжительное время (сосна 24, ель 39 дней) сохраняют высокую всхожесть: ель до 87%, сосна до 79%. По данным же опытов Сибиревой (1955), полученным в лабораторных условиях при вымачивании семян в дистиллированной воде с температурой 6—10°, ель после 40 дней пребывания в воде имела всхожесть только 66%, сосна после 25 дней вымачивания — 26%. Такие различия в результатах опытов при низкой температуре воды нужно объяснить следующим. В естественной обстановке как в течение суток, так и в течение весенне-летнего периода температура воды не остается постоянной. Максимальная температура ее наблюдается в дневные часы, минимальная — в утренние. Амплитуда суточных колебаний температуры воды достигала до 7°C. Такие резкие колебания температуры воды благоприятно действуют на семена, увеличивая количество кислорода в воде, затормаживая разрушающее действие на семена гнилостных бактерий и грибов. Кроме того при низкой переменной температуре воды (1—10°) снижается активность биохимических процессов, протекающих в семенах. Известно, что последние зависят от температуры и влажности семян (Крокер и Бартон, 1955). При постоянной температуре воды (6—10°) этого не происходит и семена быстрее теряют всхожесть.

¹ Температура воды была 10—14°C.

В этом случае вредное влияние на семена при их вымачивании оказывает также дистиллированная вода (Крокер и Бартон, 1955).

Следовательно, колебания температуры воды в естественной обстановке как в течение суток, так и всего весенне-летнего периода способствуют более длительному сохранению всхожести семян, находящихся в воде. Данные о всхожести семян в зависимости от продолжительности их вымачивания в воде, полученные при исследованиях в лабораторных условиях с постоянной температурой воды, не отражают действительного положения в естественной обстановке.

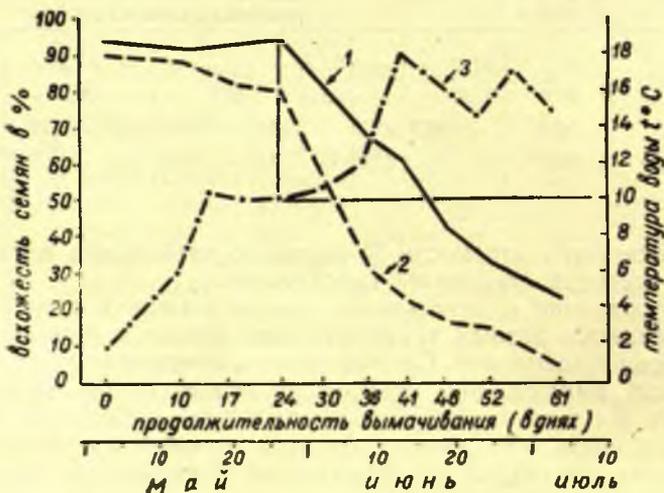


Рис. 1. Всхожесть семян хвойных в зависимости от продолжительности вымачивания и температуры воды (1957 г.).

1 — кривая понижения всхожести семян ели; 2 — кривая понижения всхожести семян сосны; 3 — кривая максимальной суточной температуры воды в микропонижениях.

При повышении максимальной суточной температуры воды выше $10-11^{\circ}\text{C}$ и до $18-23^{\circ}$ наблюдается резкое понижение всхожести семян. Так, в 1956 г. до 12/VI температура воды в микропонижениях на вырубке была ниже 11°C . Семена ели в этот период имели всхожесть 87,3%, сосны — 60%. С 12/VI наблюдается резкое повышение температуры воды. В отдельные дни максимальная суточная температура ее поднималась до 23°C . В связи с этим происходит быстрое понижение всхожести у семян. Всхожесть семян ели за 13 дней (на 52 день вымачивания) снизилась с 87,3 до 5%, у сосны — с 60 до 2,3%. Такая же картина понижения всхожести семян в связи с повышением температуры воды выше $10-11^{\circ}\text{C}$ наблюдалась и в 1957 г. В этом году с 28—29 мая началось постепенное повышение температуры воды от 10 до $17-21^{\circ}$. Одновременно с этим происходит и понижение всхожести семян хвойных. Через 30 дней (на 61 день вымачивания) всхожесть семян ели понизилась с 83% до 21%, сосны — с 61 до 3,5%.

Зависимость потери всхожести семян от продолжительности их вымачивания и температуры воды показана на рис. 1.

Из этого рисунка видно, что критической максимальной суточной температурой воды, выше которой начинается быстрое понижение всхожести у семян при нахождении их в воде, является +10°.

Резкое понижение всхожести семян хвойных при их вымачивании с повышением температуры воды выше 10°C связано с тем, что с повышением температуры воды усиливается жизнедеятельность семян: набухание, дыхание (Крокер и Бартон, 1955). Количество же кислорода в воде уменьшается, и семена задыхаются. Кроме того, при высокой температуре на семенах начинают энергично развиваться грибы и бактерии, в результате чего семена загнивают. Некоторые исследователи (Tilford, Able и др., 1924; Сибирева, 1955) этому фактору в понижении всхожести семян при их вымачивании отводят первенствующее значение. Особенно усиленно гнилостные бактерии и грибы развиваются на семенах при температуре воды 20—30°C (Сибирева, 1955).

Наши опыты показывают, что вымачивание семян в течение непродолжительного времени (до периода повышения температуры выше 10°C) действует даже благоприятно — повышается энергия прорастания семян (происходит как бы стратификация их). Основная масса семян прорастает при этом на 5—6 день, в контроле только на десятый день (табл. 2).

Таблица 2

Всхожесть и энергия прорастания семян в зависимости от продолжительности их вымачивания (1956)

Сроки взятия проб семян на проращивание	Продолжительность вымачивания семян (в днях)	Количество проросших семян в % (среднее из шести повторностей на):						Всего проросших семян за период наблюдений в %
		5 день	6 день	7 день	8 день	10 день	15 день	
		Е л ь						
Контроль		8,4	21,6	27,2	11,5	19,8	5,5	94,0
13/V	7	57,9	28,1	3,1	—	1,0	0,2	90,0
23/V	18	43,3	42,4	2,1	1,4	0,1	0,0	89,3
3/VI	28	51,8	21,2	8,4	5,3	0,6	0,2	87,5
12/VI	39	54,3	25,4	3,7	3,5	—	0,4	87,3
19/VI	46	0,2	8,3	12,0	3,6	2,1	0,8	26,5
25/VI	52	0,0	0,0	2,6	0,8	1,2	0,4	5,0
		С о с н а						
Контроль		—	11,2	23,1	20,1	22,7	12,9	90,0
13/V	7	31,5	35,8	16,4	—	3,2	3,0	87,9
23/V	18	16,0	42,2	8,2	6,3	2,8	0,0	75,5
3/VI	28	14,4	21,3	24,3	—	1,7	2,1	63,8
12/VI	39	17,0	13,3	15,8	7,4	4,0	2,5	60,0
19/VI	46	2,1	7,8	5,1	0,8	0,0	0,0	15,8
25/VI	52	0,0	0,7	1,3	0,2	0,1	0,0	2,3

В целом результаты опытов свидетельствуют о том, что в естественной обстановке на вырубках с избыточным увлажнением при низкой переменной температуре воды семена продолжительное время могут оставаться всхожими.

В изучаемых нами условиях низкая температура воды на вырубках (ниже 10°C) держится до начала июня. К этому периоду семена хвойных еще не теряют всхожесть. Следовательно, если семена освобождаются от воды в этот период, они могут дать всходы. Этим отчасти можно объяснить наличие хорошего лесовозобновления на осушенных лесных землях.

Кислотность воды, в которой вымачивались семена, по-видимому, не оказывает вредного влияния на всхожесть семян. Это видно из того, что при разной кислотности воды в годы исследований (в 1956 г. $\text{pH}=3,8-4,5$; в 1957 г. $\text{pH}=5,88-6,2$) результаты опытов были сравнительно одинаковы. Некоторое различие объясняется температурным режимом воды в эти годы.

Влияние глубины нахождения семян в воде (5—10, 15—20 см) при их вымачивании выражено очень слабо.

Результаты данных исследований дают возможность предполагать, что в избыточно увлажненных условиях Севера появление всходов на вырубках должно быть более обильное, чем в таких же условиях по увлажнению, но несколько южнее, так как на юге температура воды уже в мае достаточно высока и семена, находящиеся в воде, быстрее погибают. Однако, если всходы хвойных и появляются в июне-июле при уровне почвенно-грунтовых вод ниже поверхности почвы, то в последующий летне-осенний период они вымокают. Так, на десятилетней вырубке из-под ельника-долгомошника 11 июня 1956 г. в микропонижениях, которые к этому времени вышли из-под воды, были произведены посевы хвойных. Всего было засеяно 19 микропонижений. На каждом из них высевалось от 400 до 700 штук семян. Всходы появились к 25 июня. Через месяц (24 июля) они были затоплены в результате подъема почвенно-грунтовых вод. Глубина воды в микропонижениях была 5—17 см. Температура воды в период наблюдений колебалась в пределах $9-22^{\circ}\text{C}$.

6 августа, т. е. через 13 дней после затопления всходов, в микропонижениях, где глубина воды достигала 10—17 см, всходы были буровато-желтые, у некоторых наблюдалось загнивание хвоинок. При глубине воды 4—7 см всходы были здоровые, зеленые. Максимальная температура воды в этот период доходила до $17-22^{\circ}\text{C}$.

К 15 августа, через 20 дней после затопления, в отдельных микропонижениях всходы погибли на 35—40%. Оставшиеся всходы, главным образом по периферии микропонижений, с меньшим слоем воды, были с побуревшими хвоинками. К 7 сентября, т. е. через 45 дней пребывания однолетних всходов в воде, наблюдалось полное их вымокание.

Те семена, которые попадают в мощно развитый моховой покров из кукушкина льна и сфагнома, зависают в нем и погибают, не достигнув поверхности почвы.

Нами были произведены посевы семян сосны и ели по моховому покрову из кукушкина льна и сфагнома мощностью 20—30 см и на обнаженную от мха почву по микроповышениям (с целью предостереечь семена от вымокания) — контроль. Посевы производились на метровых площадках. По моховому покрову было засеяно по 20 площадок ели и сосны и по пять площадок на обнаженную от мха почву

(торфянистый слой). Во втором случае семена заделывались на глубину 0,5—1,0 см и мульчировались торфянистой крошкой. На каждую площадку высевалось 500 штук семян.

Посевы были произведены в мае 1956 г. Почвенно-грунтовые воды в этот период стояли у поверхности почвы. Моховой покров был достаточно влажный.

В конце августа 1956 г. и в июле 1957 г. на площадках был произведен учет всходов. В результате оказалось, что на площадках с моховым покровом всходы не появились. На контрольных площадках (обнаженная почва) всходы сосны и ели были обильные. Грунтовая всхожесть семян равнялась 67% (лабораторная — 90—94%).

Литературные данные по этому вопросу также говорят, что моховой покров неблагоприятен для появления всходов. Так, например, посевы, произведенные по моховому покрову из кукушкина льна и сфагнума Богдановым (1955), не дали всходов. Данные Сибиревой (1955) показывают, что при мощности мохового покрова (кукушкин лен) до 13 см всходы сосны и ели очень малочисленны. Такие же указания на отрицательное влияние мохового покрова на прорастание семян мы находим также у Елпатьевского (1936), Мелехова и Голдобной (1947) и др.

Вышесказанное о вредном влиянии мощно развитого мохового покрова на появление всходов хвойных подтверждается и тем фактом, что на десятилетней заболоченной вырубке из-под ельника-долгомошника нами при учете лесовозобновления не было обнаружено всходов сосны и ели в возрасте 2—3 лет. Такие сеянцы встречались лишь в местах со слаборазвитым рыхлым моховым покровом (мощность 5—10 см) или по микроповышениям с обнаженной от мха почвой. В первом случае семена попадают на влажный торфянистый слой и прорастают. Следовательно, рыхлый моховой покров может благоприятствовать всходам семян. На это указывают также и другие исследователи (Мелехов, 1947; Елпатьевский, 1936). Этим надо объяснить сравнительно обильное появление последующего возобновления сосны и ели в ельнике-долгомошнике в первые годы после вырубки древостоя, когда моховой покров еще более рыхлый и маломощный. Так, на десятилетней заболоченной вырубке, где проводились наши исследования, подрост сосны и ели в возрасте 5—10 лет насчитывается около 3 тысяч экз. на 1 га.

С возрастом вырубки происходит очень интенсивный рост мохового покрова. Нами был зафиксирован на семилетней заболочивающейся вырубке прирост кукушкина льна до 7 см, сфагнума до 5 см за вегетационный период. В то же время известно, что быстрый рост мохового покрова препятствует не только появлению всходов, но и приводит к гибели появившихся уже всходов хвойных (Рубцов, 1955).

Таким образом, для создания условий прорастания семян и роста всходов на вырубках с избыточным увлажнением необходимо понижение уровня почвенно-грунтовых вод при помощи осушительной сети и уничтожение мохового покрова (минерализация поверхности почвы). Заслуживает внимания также способ проведения борозд на заболоченных вырубках кустарниковым плугом (предложение Кошечеева и Лаврова, 1953, Ленинградская область). При этом, с одной стороны, создаются условия для стока воды по бороздам и понижения почвенно-грунтовых вод, с другой, — создаются благоприятные условия для прорастания семян и роста древесной растительности (на пластах).

Наши исследования показывают, что даже незначительное понижение уровня почвенно-грунтовых вод на заболоченной вырубке резко увеличивает прирост хвойных. Так, пятилетние сосенки на микроповышении имели высоту до 120 см, на ровном месте около 70 см, т. е. почти в два раза меньше. Текущий прирост в высоту в первом случае в 2—3 раза больше. Почвенно-грунтовые воды на микроповышениях в течение вегетационного периода были всего на 10—15 см ниже, чем на ровном месте.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Семена сосны и ели, погруженные в воду в естественных условиях (вырубка из-под ельника-долгомошника) могут продолжительное время при низкой температуре воды (не выше $+10^{\circ}\text{C}$) сохранять свою всхожесть (сосна больше 25, ель больше 39 дней).

2. Потеря всхожести семян хвойных на вырубках с избыточным увлажнением зависит не только от продолжительности их вымачивания, но и от температуры воды, в которой они находятся. Чем выше температура воды, тем быстрее семена теряют всхожесть от вымокания, причем семена сосны сильнее реагируют на повышение температуры воды и интенсивней понижают свою всхожесть.

3. Критической максимальной суточной температурой воды, выше которой быстро начинает понижаться всхожесть семян от вымокания, является температура $+10^{\circ}\text{C}$. При температуре воды выше 10° и, особенно, при $17-23^{\circ}$ семена сосны и ели уже через 25—30 дней пребывания в воде практически теряют всхожесть.

4. Нахождение семян хвойных в воде непродолжительное время действует даже положительно — увеличивается энергия их прорастания.

5. В условиях южной Карелии семена сосны и ели, находящиеся в избыточно увлажненных условиях (вырубка из-под ельника-долгомошника), не понижают всхожесть до начала июня. К этому периоду температура почвенно-грунтовых вод не поднимается выше $+10^{\circ}\text{C}$. Дальнейшее пребывание семян в воде приводит к понижению их всхожести и уже к началу июля они становятся практически невсхожими.

6. На сплошных концентрированных вырубках из-под ельника-долгомошника имеет место вымокание всходов сосны и ели. Пребывание однолетних всходов в течение 20—45 дней в воде в зависимости от ее температуры приводит их к гибели.

7. Мощно развитый моховой покров из кукушкина льна и сфагнума препятствует появлению всходов сосны и ели. Он является той прослойкой, которая отделяет семена и всходы древесных пород от источников водного и минерального питания.

8. На вырубках с избыточным увлажнением (ельник-долгомошник), чтобы предотвратить вымокание семян и всходов хвойных пород и создать условия для их прорастания и роста, необходимо понизить уровень почвенно-грунтовых вод и уничтожить моховой покров (минерализация почвы).

9. Таким образом, решение вопроса облесения избыточно увлажненных вырубок хвойными заключается не только в одних семенах, а прежде всего в изменении водного режима почвы вырубок.

ЛИТЕРАТУРА

- Богданов Б. П. Влияние мхов на всходы древесных растений. Тр. Ин-та леса АН СССР, т. XXXI, М., 1955.
- Буренков В. А., Кощеева А. Л., Мальчевская Н. Н. Материалы по изучению процессов заболачивания лесосек в Лисинском леспромпхозе. Тр. ЛТА, № 4, 1934.
- Дмитриев А. С. Заболачивание и разболачивание концентрированных вырубков в борах-черничниках в бассейне Сысолы (Коми АССР). Автореферат. Сыктывкар, 1950.
- Елпатьевский М. П. Нарастание сфагновых болот в высоту и его лесоводственное значение. Сб. тр. ЦНИИЛХ „Повышение производительности лесных земель посредством осушительной мелиорации“, Л., 1936.
- Кощеев А. Л., Лавров И. А. Опыт восстановления леса на заболоченных лесосеках. Гослесбуиздат, М.—Л., 1953.
- Кощеев А. Л. Заболачивание вырубков и меры борьбы с ними. Изд. АН СССР, М., 1955.
- Крокер В., Бартон Л. Физиология семян. Изд. иностранной литературы, М., 1955.
- Малянов А. П. Заболачивание почв на сплошных лесосеках. Почвоведение, № 5, 1939.
- Мелехов И. С., Голдобина П. В. Изменение напочвенного покрова в связи с концентрированными рубками. Сб. науч.-исслед. работ Архангельского лесотехн. ин-та, вып. IX, 1947.
- Рубцов В. Г. Влияние осушения на лесовозобновление в сфагновых лесорастительных условиях. Автореферат, Л., 1955.
- Сибирева З. А. Влияние напочвенного растительного покрова лесосек на появление всходов сосны и ели. Тр. ин-та леса АН СССР, т. XXXI, М., 1955.
- Сибирева З. А. Изменение всхожести семян сосны и ели в зависимости от продолжительности их замачивания и кислотности среды. Тр. ин-та леса АН СССР, т. XXXI, М., 1955.
- Сукачев В. Н. Болота, их образование, развитие и свойства, Л., 1926.
- Танфильев Г. И. О болотах Петербургской губернии. Тр. Вольно-экономического общества. № 1—2, 1889.
- Tilford P., Able C. F., Hibbard R. P. An injurious factor affecting the seeds of *Phaseolus vulgaris* soaked in water, Papers Mich. Acad. Sci., Art and Letters, 4, 1924.