

ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЕЛЬНИКОВ В РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ

The annual quantity of the deposits which are dropping out in territory of Belarus is established, that, is for highly productive spruce forests between a minimum and optimum value. The highly productive stands growing on automorphic soils, start to test chronic lack of a moisture since 35–40-years old. Shrinkage of spruce stands it is observed at size of moisture supply less than 80% from the charge of a moisture at constant optimum humidifying. On the basis of the revealed laws parameters of the soil-ground conditions are certain, allowing to form to age of the main cabin highly productive and steady spruce stands plantings. The way of an estimation of suitability of sites of forest culture fund for creation and cultivation of forest cultures of spruce is offered.

Введение. Вода играет исключительно важную роль в жизни растений. Она является компонентом протоплазмы, растворителем, посредством которого по растению передвигаются газы, соли и другие вещества. Вода участвует в качестве реагента в фотосинтезе и процессе гидролиза, она необходима для поддержания тургора и пр. Многообразие выполняемых водой функций делает недостаток ее критическим для растительных организмов [1]. В благоприятных условиях растительный организм на 60–85% состоит из воды. Чрезмерный расход воды приводит к завяданию и нарушению протекающих физиологических процессов [2].

Главным источником влаги для растений является почва. Поступление воды из почвы определяется комбинацией сосущей силы осмотической природы с передвижением воды, обусловленным активным обменом веществ. Органом, осуществляющим снабжение растения водой, является корневая система. Количество влаги в почве определяется преимущественно почвенно-грунтовыми условиями, которые также оказывают влияние на распространение корней. На автоморфных почвах единственным источником поступления влаги являются атмосферные осадки, на полугидроморфных и гидроморфных к нему добавляется влага грунтовых вод. Таким образом, на автоморфных почвах влагообеспеченность насаждений определяется исключительно гранулометрическим составом почвы и строением почвенного профиля, оказывающим влияние на формирование зоны ризосферы. Влагоемкие почвы (суглинки и глины) запасают влагу на продолжительный период. Растения, произрастающие на таких почвах, не испытывают неблагоприятных последствий засух даже после продолжительных периодов засухи. Невлагоемкие песчаные почвы обладают малой водоудерживающей способностью и не обеспечивают растения влагой в должной мере. Засухи на них наступают многократно, после каждого, даже краткого, периода бездождья и жары и всякий раз приобретают острый характер [3].

Основная часть. Для характеристики влагообеспеченности используется величина за-

са продуктивной влаги, равная запасу влаги при наименьшей влагоемкости почвы без запаса влаги при влажности завядания (уравнение (1)). Влажность завядания – влага, которая не используется растениями, принятая равной удвоенной величине максимальной гигроскопичности [4].

$$ЗВ_{пр} = ЗВ_{НВ} - ЗВ_{2МГ}, \quad (1)$$

где $ЗВ_{пр}$ – запас продуктивной влаги в почве, мм; $ЗВ_{НВ}$ – запас влаги при наименьшей влагоемкости, мм; $ЗВ_{2МГ}$ – запас влаги при влажности завядания, мм.

Запас влаги (мм) рассчитывается по уравнению

$$ЗВ = 10V_{об}T, \quad (2)$$

где $ЗВ$ – запас влаги, мм; $V_{об}$ – влажность почвы, % от объема почвы; T – мощность слоя почвы, м.

Наименьшая влагоемкость почвы рассчитывается по уравнению

$$НВ = 20,82 + 1,42x, \quad (3)$$

где $НВ$ – наименьшая влагоемкость, % от объема почвы; x – содержание частиц физической глины, % от массы почвы.

Величина максимальной гигроскопичности определяется по уравнению

$$МГ = 1,71 + 0,16x, \quad (4)$$

где $МГ$ – максимальная гигроскопичность, % от объема почвы; x – содержание частиц физической глины, % от массы почвы.

Если обобщить вышеприведенные уравнения (1)–(4), величина запаса продуктивной влаги может быть рассчитана по уравнению

$$ЗВ_{пр} = T(174 + 11x), \quad (5)$$

где $ЗВ_{пр}$ – запас продуктивной влаги в почве, мм; T – мощность слоя почвы, м; x – содержание частиц физической глины, % от массы почвы.

Основное количество влаги, поступающей из почвы в растение, расходуется на транспирацию. Известно, что на каждый килограмм

выработанного сухого вещества растению необходимо несколько центнеров воды, причем около 95% ее просто проходит через растение и теряется при транспирации. Количество транспирируемой влаги зависит как от комплекса факторов внешней среды, так и от внутренних специфических особенностей растительных видов [2]. Большинство растений способно регулировать потери влаги в результате транспирации посредством устьиц, работа которых, в свою очередь, зависит от внешних условий.

Величина транспирации у деревьев во многом зависит от их местоположения, формы и внутренней структуры кроны. При свободном стоянии интенсивность транспирации зависит в основном от климатических и эдафических факторов. В лесных фитоценозах, где формируется особый собственный климат, определяемый структурой, возрастом и составом насаждения, величина транспирации в достаточной степени зависит от этих факторов. Насаждения, произрастающие на полугидроморфных почвах, где в снабжении деревьев влагой принимают участие грунтовые воды, транспирируют большее количество влаги. Согласно исследованиям И. Б. Ревута и Н. Г. Захаренко, 20-летний сосняк в условиях глубоководного песка расходует на транспирацию около 200 мм воды, а на близководном – около 800 мм [3].

Согласно исследованиям Г. Польстера, дневная транспирация ели европейской составляет около 1,4 г воды на 1 г сырой хвои [2].

Определение транспирации насаждений представляет собой гораздо более сложную задачу. В насаждениях листья, находящиеся в различных частях кроны, испаряют влагу с неодинаковой интенсивностью, что обуславливается положением ветвей в кроне, возрастом и густотой насаждения, прозрачностью кроны, породным составом насаждения и прочими факторами. Наиболее просто суммарную транспирацию насаждения можно вычислить как произведение листовой массы (массы хвои) на среднюю ежедневную транспирацию листьев (хвои). Г. Польстер, использовавший данный метод для определения транспирации 40–50-летних еловых насаждений естественного происхождения, рассчитал, что ее ежедневная величина составляет 3,7 мм/га, а годовая – 390–450 мм/га.

Более точным методом определения расхода влаги на транспирацию является балансный, основанный на составлении уравнения водного баланса местности, однако он значительно более сложен и требует большого объема исследований в натуре. Е. Кирвальд, применявший данный метод в средневозрастных ельниках, установил, что общая годовая испаряемость всей поверхности в данных насаждениях составляет 300–320 мм/га, что несколько ниже

результатов, полученных Г. Польстером как произведение массы хвои и средней ежедневной ее транспирации [2].

Как известно, количество атмосферных осадков на территории центральной и северной части Беларуси, т. е. в местах наибольшей концентрации еловых лесов, составляет 600–700 мм в год. Согласно литературным данным, в еловых насаждениях 25–32% осадков задерживается кронами деревьев и расходуется на физическое испарение [5, 6]. Таким образом, в почву ежегодно попадает 408–525 мм осадков. Если учесть, что в период активной вегетации (май – сентябрь) выпадает в среднем 340 мм, то в почву под ельниками поступает всего 230–255 мм. Можно сделать вывод, что еловые насаждения, произрастающие на автоморфных почвах, испытывают хронический дефицит влаги, который ликвидируется на непродолжительный срок выпадением осадков высокой интенсивности.

Из литературных источников известно, что масса хвои у деревьев увеличивается с увеличением их диаметра [7]. Между данными показателями имеется тесная корреляционная связь [8]. Для построения уравнения зависимости массы хвои елового древостоя в свежем состоянии от его среднего диаметра нами были использованы материалы исследований фитомассы в еловых фитоценозах [7, 9, 10].

Регрессионным анализом установлено, что зависимость массы хвои в свежем состоянии от среднего диаметра елового насаждения наиболее точно описывается уравнением

$$y = 3,8104 - 0,0152D_{cp}^2 + 1,4931D_{cp}, \quad (6)$$

где y – масса хвои в свежем состоянии, т/га; D_{cp} – средний диаметр древостоя, см.

Достоверность аппроксимации данного уравнения составляет $R^2 = 0,83$. Уравнение действительно при $D_{cp} = 4,1–40,6$ м, достоверность аппроксимации (R^2) составляет 0,57, ошибка уравнения $m_{yx} = 6,17$. Достоверность коэффициента детерминации $F_{факт} = 19,24$. Вычисленное значение критерия Фишера ($F_{факт}$) больше табличного ($F_{95\%} = 7,71$), поэтому можно сделать вывод о существовании достоверной связи между средним диаметром древостоя и массой хвои.

Учитывая, что дневная транспирация ели европейской составляет 1,4 г воды на 1 г хвои, ежедневный расход влаги еловым насаждением можно определить, используя уравнение

$$y = (3,8104 - 0,0152D_{cp}^2 + 1,4931D_{cp})0,14, \quad (7)$$

где y – среднее ежедневное количество транспирируемой влаги, мм; D_{cp} – средний диаметр древостоя, см.

Используя уравнение (7) и таблицы хода роста, легко определить расход влаги на транспирацию нормальных еловых древостоев различного возраста и продуктивности, произра-

стающих в условиях постоянного оптимального увлажнения (табл. 1).

Сравнивая полученные данные с количеством атмосферных осадков, поступающих в почву еловых фитоценозов в течение года (408–525 мм), можно заключить, что наиболее продуктивные ельники Ia класса бонитета, произрастающие на автоморфных почвах, начинают испытывать хронический недостаток влаги для оптимального развития начиная с 35–40-летнего возраста, когда оптимальный расход влаги на транспирацию не компенсируется ее поступлениями из почвы. Ответной реакцией растений на это является регулирование ряда физиологических процессов, в результате чего потери влаги при транспирации могут существенно снижаться. Однако одновременно уменьшаются темпы накопления растением органической массы, падает прирост по диаметру и высоте и в конечном счете снижается продуктивность насаждений. Физиологически обусловленное сокращение транспирации может осуществляться до какого-то предела, по достижении которого прекращается рост растения и, при дальнейшем сокращении поступления влаги, начинается его усыхание и гибель. Как отмечает В. И. Абражко, высокопродуктивные ельники менее устойчивы к водному стрессу и в значительно большей степени подвержены усыханию, чем ельники сфагновой группы [11]. Со снижением продуктивности насаждений увеличивается возраст, при котором насаждения начинают испытывать хронический недостаток влаги для нормального развития. В ельниках III класса бонитета, форми-

рующихся на автоморфных почвах, превышение расхода влаги на транспирацию над количеством атмосферных осадков наблюдается с 60–70 лет, а потому они, как правило, практически не усыхают. С целью определения границы обеспеченности еловых насаждений влагой, ниже которой может начаться их усыхание, нами проанализированы усыхающие ельники (ПП 1–10) (табл. 2).

Ельники на ПП 1–3 и 10 произрастают на автоморфных почвах. Основными причинами усыхания данных насаждений является низкая влагоудерживающая способность почвы, обусловленная небольшим содержанием физической глины, и недостаточное количество атмосферных осадков. Так, ельники на ПП 3 и ПП 10, произрастают на почвах, в профиле которых верхний незначительный по толщине слой песка связного сменяется мощными отложениями песка рыхлого, а среднее содержание физической глины в корнеобитаемой толще составляет соответственно 3,47 и 2,44%. В данных насаждениях, усыханию подверглись все деревья I–II классов роста по Крафту, суммарный запас которых составляет более 60% запаса древостоя. С повышением содержания частиц физической глины в зоне ризосферы наблюдается некоторое уменьшение среди наиболее крупных деревьев доли усохших. Так, запас усохших деревьев на ПП 1 при среднем содержании физической глины в корнеобитаемой толще 6,69% составляет около 30% от общего запаса древостоя, на ПП 2, где почва характеризуется как рыхлосупесчаная (содержание физической глины в зоне ризосферы 12,04%) – около 20%.

Таблица 1

Количество транспирируемой влаги еловыми древостоями в условиях постоянного оптимального увлажнения за период активной вегетации (май – сентябрь), мм

| Бонитет | Возраст, лет | | | | | | | | | | | | |
|---------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
| Ia | 289 | 396 | 487 | 555 | 615 | 661 | 699 | 730 | 754 | 776 | 791 | 803 | 814 |
| I | 259 | 358 | 442 | 513 | 569 | 617 | 656 | 689 | 713 | 736 | 751 | 767 | 777 |
| II | 236 | 320 | 396 | 461 | 514 | 562 | 603 | 636 | 666 | 689 | 708 | 725 | 737 |
| III | 199 | 282 | 353 | 413 | 465 | 509 | 549 | 583 | 614 | 638 | 659 | 679 | 693 |
| IV | 159 | 231 | 295 | 349 | 401 | 447 | 487 | 520 | 549 | 574 | 595 | 614 | 627 |
| V | 125 | 184 | 239 | 286 | 327 | 366 | 399 | 428 | 451 | 473 | 490 | 505 | 519 |

Таблица 2

Влагообеспеченность усыхающих еловых насаждений

| Номер пробной площади | Возраст, лет | Бонитет | Недостаток влаги для оптимального роста, мм | Влагообеспеченность, % | Номер пробной площади | Возраст, лет | Бонитет | Недостаток влаги для оптимального роста, мм | Влагообеспеченность, % |
|-----------------------|--------------|---------|---|------------------------|-----------------------|--------------|---------|---|------------------------|
| 1 | 70 | Ia | 306 | 61,2 | 6 | 55 | I | 435 | 35,6 |
| 2 | 60 | I | 132 | 81,9 | 7 | 60 | I | 489 | 26,2 |
| 3 | 80 | Ia | 383 | 51,9 | 8 | 70 | I | 397 | 45,5 |
| 4 | 60 | Ia | 385 | 43,3 | 9 | 80 | I | 463 | 40,1 |
| 5 | 60 | Ia | 416 | 42,1 | 10 | 75 | II | 255 | 60,8 |

На полугидроморфных почвах еловые насаждения усыхают вследствие резкого снижения уровня грунтовых вод в засушливые годы. При неглубоком залегании грунтовых вод ель формирует поверхностную корневую систему, охватывающую небольшой объем почвы [12]. В годы с достаточным количеством атмосферных осадков, корневая система находится в зоне капиллярной каймы и ель не испытывает недостатка влаги. Однако в засушливые годы, когда происходит резкое снижение уровня грунтовых вод, количество влаги в корнеобитаемом слое почвы оказывается недостаточным для удовлетворения физиологической потребности ели, что справедливо даже для почв, тяжелых по гранулометрическому составу. Влагообеспеченность обследованных ельников на полугидроморфных почвах (ПП 4–9) при резком снижении уровня грунтовых вод составляет всего 26,2–45,5%. Следовательно, полугидроморфные почвы, которым свойственно резкое снижение уровня грунтовых вод в засушливые годы, являются более непригодными для создания и выращивания еловых насаждений, чем автоморфные.

Согласно нашим исследованиям (табл. 2), высокопродуктивные ельники могут усыхать в том случае, если влагообеспеченность снижается до 81,9%. Принимая наименьшее значение влагообеспеченности, при которой формируются устойчивые к засухам еловые насаждения, равной 80%, с учетом зависимости количества транспирируемой древесиной влаги от среднего диаметра можно рассчитать критический запас продуктивной влаги, ниже которого наблюдается усыхание еловых древостоев:

$$y = (3,8104 - 0,0152D_{cp}^2 + 1,4931D_{cp})17,136, (8)$$

где y – необходимый для формирования ельников запас продуктивной влаги в почве, мм; D_{cp} – средний диаметр древостоя, см.

Для 80-летнего ельника Ia класса бонитета критический запас продуктивной влаги составляет 559 мм.

Пригодность почвенно-грунтовых условий к выращиванию еловых насаждений может быть оценена посредством сравнения левой и правой частей уравнения

$$T(174 + 11x) = (3,8104 - 0,0152D_{cp}^2 + 1,4931D_{cp})17,136, (9)$$

где T – мощность зоны ризосферы, м; x – среднее содержание частиц физической глины, % от массы; D_{cp} – средний диаметр древостоя, см.

Данный метод оценки пригодности может применяться для автоморфных, а также полугидроморфных почв, которым свойственно резкое снижение уровня грунтовых вод в засушливые годы. Создание и выращивание еловых насаждений в тех или иных почвенно-грунтовых условиях целесообразно, если при проведении расчетов по уравнению (9) его левая часть, показывающая запас продуктивной влаги в почве (мм), имеет большее численное значение по сравнению с правой, показывающей расход влаги на транспирацию нормальным еловым древостоем (мм). Средний диаметр древостоя (D_{cp}) определенного класса бонитета берется из таблиц хода роста нормальных еловых насаждений, а бонитет елового древостоя устанавливается по уравнениям связи продуктивности ельников с содержанием физической глины и глубиной залегания грунтовых вод.

С использованием вышеприведенных расчетов и установленной нами связи продуктивности еловых древостоев с почвенно-грунтовыми условиями можно определить условия местопроизрастания, пригодные для выращивания еловых древостоев (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика почвенно-грунтовых условий, пригодных для выращивания устойчивых еловых древостоев

| Почва | Среднее содержание физической глины в зоне ризосферы, % | Глубина залегания грунтовых вод, м | Мощность зоны ризосферы, м |
|------------------|---|------------------------------------|----------------------------|
| Автоморфная | 10–13 | >5,0 | 2,0 |
| | 13–16 | | 1,8 |
| | 16–21 | | 1,6 |
| | 21–27 | | 1,4 |
| | 27–35 | | 1,2 |
| | >35 | | 1,0 |
| Полугидроморфная | 10–13 | >3,4 | 2,0 |
| | 13–16 | >3,5 | 1,8 |
| | 16–21 | >3,5 | 1,6 |
| | 21–27 | >3,8 | 1,4 |
| | 27–35 | >4,1 | 1,2 |
| | >35 | >4,6 | 1,0 |

При определении пригодности почвенно-грунтовых условий для выращивания ельников нами считалось, что на полугидроморфных почвах в засушливые периоды может наблюдаться резкое снижение уровня грунтовых вод, что делает их влагу недоступной для корней деревьев. Участки с полугидроморфными почвами, где этого не происходит, пригодны для формирования ельников при любом содержании физической глины в зоне ризосферы.

Заключение. На основании проведенных исследований установлено, что годовое количество осадков, выпадающих на территории Беларуси, находится для высокопродуктивных еловых лесов между минимумом и оптимальным значением. Высокопродуктивные ельники, произрастающие на автоморфных почвах, начинают испытывать хронический недостаток влаги с 35–40-летнего возраста. Усыхание ельников наблюдается при величине влагообеспеченности менее 80%. На основе выявленных закономерностей определены показатели почвенно-грунтовых условий, позволяющие формировать к возрасту главной рубки высокопродуктивные и устойчивые еловые насаждения. Данные показатели могут использоваться при оценке пригодности участков лесокультурного фонда для создания еловых насаждений.

Литература

1. Крамер, Пол Д. Физиология древесных растений: пер. с англ. / Пол Д. Крамер, Теодор Т. Козловский. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 464 с.
2. Лир, Х. Физиология древесных растений / Х. Лир, Г. Польстер, Г.-И. Фидлер. – М.: Лесн. пром-сть, 1974. – 424 с.
3. Погребняк, П. С. Общее лесоводство / П. С. Погребняк. – М.: Колос, 1968. – 440 с.
4. Русаленко, А. И. Структура и продуктивность лесов при подтоплении и затоплении / А. И. Русаленко. – Минск: Наука и техника, 1983. – 175 с.
5. Зябченко, С. С. Влияние породного состава и структуры лесов на составляющие водного баланса / С. С. Зябченко, М. Н. Кривоногов // Лесн. хоз-во. – 1991. – № 8. – С. 30–31.
6. Осипов, В. В. К вопросу о влиянии леса на распределение осадков / В. В. Осипов // Лесоведение. – 1967. – № 4. – С. 76–80.
7. Смирнов, В. В. Масса хвои в ельниках и процессы ее формирования / В. В. Смирнов // Сб. науч. тр. / Ин-т экологии растений и животных УФАИ СССР. – Л., 1968. – Вып. 62. – С. 217–223.
8. Смоляк, Л. П. Таблицы запасов надземной фитомассы сосняков БССР / Л. П. Смоляк, А. И. Русаленко, Е. Г. Петров // Лесн. хоз-во. – 1977. – № 2. – С. 68–71.
9. Смирнов, В. В. Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах европейской части СССР / В. В. Смирнов. – М.: Наука, 1971. – 362 с.
10. Смирнов, В. В. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах / В. В. Смирнов. – Л.: Наука, 1971. – С. 47–52.
11. Абражко, В. И. О водном режиме еловых древостоев в засуху / В. И. Абражко // Лесоведение. – 1994. – № 6. – С. 36–45.
12. Филон, Д. И. Характер распространения корневой системы ели по глубине почвенного профиля / Д. И. Филон // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2006. – Вып. XIV. – С. 199–203.