

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.М. Чыngoжоев, Н. улуу Арстанбек

Научно-производственный центр исследования лесов им. П.А. Гана ИБ НАН КР

Аннотация: Полевой материал был собран в еловых лесах Прииссыккуля и обработан по методике, разработанной С.И. Спиридоновым, С.В. Фесенко, Ю.А. Томиной и Р.М. Алексахиной. Основное положение этого метода заключается в математическом моделировании влияния экологических факторов на древостои. Определены функции парциальной экологической полезности для различных способов размещения саженцев ели и сосны по методике, предложенной А.И. Бузыкиным, Л.С. Пшеничниковой и В.Г. Суховольским. Экологическая модель позволит определить лучшие условия для роста и развития растений, повышения их устойчивости и увеличения продуктивности насаждений.

Summary: The field material has been collected in fir forests issyk-kul area and processed by a technique developed by S.I. Spiridonov, S.V. Fesenko, J.A. Tominoj, R.M. Aleksahinoj. The Substantive provision of this method consist in mathematical modelling of influence of ecological factors on forest stands. Functions partial ecological utility for a various way of placing of saplings of a fir-tree and a pine by a technique offered by A.I. Buzykinym, L.S. Pschenichnikovoi and V.G. Suhovolskim are defined. The ecological model will allow to define the best conditions for growth and development of plants, increase of their stability and increase in efficiency of plantings.

Распределение лесов Кыргызстана весьма неравномерно и определяется гидро-термическими условиями отдельных горных хребтов и особенностями породного состава. В северной части республики, в частности Прииссыккулье, леса образованы в основном елью Шренка. В большинстве своем они распространены по крутым (более 30°) склонам гор на значительных высотах и имеют огромное противозерозионное, водоохранное и водорегулирующее значение.

Лесные площади, на которых произрастает естественный лес, по возрастному составу представлены в основном спелыми и перестойными насаждениями [1]. По данным И.Н. Чеботарева [5], в период с 1925 по 1950 гг. интенсивные рубки промышленного значения проводились главным образом в еловых лесах, и размер ежегодной выборки в 3,7 раза превышал годичный прирост. В первую очередь вырубались еловые леса, расположенные в более или менее доступных местах. Они пройдены многократными рубками, естественное возобновление в них протекает неудовлетворительно, а искусственное восстановление на вырубках связано с целым рядом трудностей, но главным

образом, с невозможностью применения механизмов при работах на склонах гор.

Из-за сплошных рубок насаждений ели Тянь-шаньской образовались огромные безлесные площади, впоследствии заросшие травянистой и кустарниковой растительностью, которые превратились в выпасные угодья. Полное исчезновение леса вызывает целый ряд негативных явлений – развитие эрозионных процессов, значительное иссушение склонов и др. Учитывая региональное значение горных лесов Кыргызстана, как накопителя поливной воды в Средней Азии, необходимо уделять самое серьезное внимание их восстановлению [3].

Государственное агентство охраны окружающей среды и лесного хозяйства при Правительстве КР приняло решение о необходимости разработки новых и усовершенствовании уже имеющихся методов создания искусственных лесонасаждений на необлесенных землях.

К числу актуальных задач лесовосстановления следует отнести разработку теории экологического прогнозирования, необходимую для создания методов построения прогнозов динамики развития насаждения,

последствий экологических, антропогенных факторов на изменение возобновляемости и сукцессий лесных сообществ, которые необходимы для современного лесного хозяйства.

Обобщая литературный материал, можно отметить, что вопросам восстановления, интродукции и лесоразведения посвящено значительное количество работ. Выбор оптимальной агротехники для посадки лесных культур – одна из насущных и сложных проблем лесокультурного производства и науки. Нашей задачей является изучение закономерностей формирования лесных культур ели Шренка, а также введение новых интродуцированных быстрорастущих пород в горные еловые леса и на основе проведенного анализа дать рекомендации усовершенствования агротехнологии искусственного лесовосстановления еловых лесов Прииссыккуля.

Для устойчивого существования лесного биогеоценоза необходимо применение оптимальных агротехнологий в горных районах Иссык-Кульской области. При создании древесного насаждения необходимо учитывать состав пород, густоту, размеры и схемы размещения площадок. Каждое дерево имеет свои биологические особенности. Следует учитывать рост и развитие в зависимости от светового режима, лесорастительных условий (климат, осадки и т.п.), а также конкуренцию за ресурс выживания. Естественное возобновление и отпад деревьев происходит случайным естественным биологическим и экологическим путем. Экологическая модель лесных сообществ позволит подражанию естественных лесов исследуемого района еловых лесов. Эта методика даст возможность оптимально учитывать рост и развитие определенной породы, влияние количества деревьев на сокра-

щение получения питательных веществ в конкуренции.

Экологическое моделирование окажет влияние на концепцию леса и может рассматриваться как широкомасштабный компьютерный эксперимент по проверке основных положений и следствий этой концепции. В результате явится примером прямого воздействия математических методов на формирование естественнонаучных представлений в области экологии. Наиболее сложная часть этих моделей – описание взаимодействия между деревьями, которое может носить сложный нелинейный характер и оказывается в субпопуляции. Следующий этап моделирования связан с рассмотрением лесной экосистемы как метапопуляции. Такие фундаментальные характеристики, как вероятность гибели и продолжительность жизни метапопуляции в целом, зависят от начальной численности и других характеристик распределения деревьев. В результате моделирования получается единственное устойчивое состояние их «динамического равновесия», представляющего собой мозаику находящихся в различных состояниях и возраст [6]. При математическом моделировании экологических последствий действия антропогенных факторов на древесный ярус использовалась методика С.И. Спиридонова, С.В. Фесенко, Ю.А. Томина, Р.М. Алексахина [2].

Для определения количества солнечной радиации (τ), поступающей на листовую поверхность дерева в условиях конкуренции за световой ресурс, рассмотрим ослабление светового потока, приходящегося на элемент листовой поверхности dh , находящейся на высоте h . Плотность потока, получаемого элементом dh , будет определяться следующим соотношением в формулах (1), (2):

$$J = J_0 \exp(-\rho b \int_0^{i \max} dx \int_{h+vtg\tau}^{H \max} n(H) dh), \quad (1)$$

$$\chi_{\max} = \frac{H_{\max} - h}{tg \tau}, \quad (2)$$

где J_0 – исходный световой поток;

ρ – коэффициент ослабления светового потока (ажурность кроны);

H – высота рассматриваемого дерева (имеющего диаметр ствола ρ);

H_{\max} – максимально возможная высота дерева;

τ – угол падения солнечных лучей (средний за период вегетации);

$n(H)$ – распределение деревьев по диаметрам стволов;

b – ширина кроны дерева.

Для экологического математического моделирования использованы обширные полевые материалы, собранные в Иссык-Кульской области, в поясе еловых лесов, где произрастают искусственные насаждения из интродуцированных пород – сосны и лиственницы. Анализировались лесные культуры разного возраста, произрастающие на различных высотных отметках и разных экспозициях склонов. Рассчитанные модели еловых культур представлены в табл. 1. Экологическая математическая модель вычислена для елового насаждения с густой плотностью, для сравнения взяты культуры с редким стоянием деревьев. Густые насаждения на пробных площадях № 1 и № 6 имеют возраст 30 и 47 лет, соответственно. Эти пробы расположены на одной и той же высотной отметке (2050 м), одной и той же экспозиции склона (СЗ). Расчёт экологического моделирования показал, что как в 30-летнем, так и в 47-летнем возрасте через 147,4 года наступит гибель густых насажде-

ний, и их диаметр будет составлять 0 см. Пробные площади № 4 и № 5, с редкой плотностью, согласно расчетам, проживут намного дольше – 597,5 лет. Таким образом, наиболее долговечными будут посадки с меньшим числом деревьев на единице площади.

В еловой зоне созданы лесные культуры из интродуцентов. Исходя из обработанных материалов, сосновые культуры произрастают в различных лесорастительных условиях от нижней до верхней границы леса (2150-2800 м над ур. м.). Мы выявили, что интродуценты в жестких условиях очень угнетены. Это согласуется с описанием в литературных источниках и фактических материалах, полученных после обработки данных лесных культур, произрастающих в верхних подпоясах. Для математического экологического прогноза взяты культуры, произрастающие в нижних и средних подпоясах. Экологическая модель для сосновых лесных культур представлена в табл. 2.

Таблица 1

Математическая модель прогноза продолжительности жизни еловых культур, произрастающих в поясе еловых лесов Прииссыккуля

Пробная площадь	Возраст, лет	ВНУМ, м	Экспозиция склона	ср. Д _{1/3} , см	ср. Н, м	Расчетная математическая модель	t, число лет, через которое наступит гибель насаждения	ср. Д (см), через определенное время
6	30	2150	СЗ	5,4	4,8	$p = -33,36 * \exp((-0,06 + 0,3 * J) * t) + (0,65 + 3,04 * J) + (-0,01 + 0,03 * t) * t + 1 - 4,7 * J$	147,4	0
1	47	2150	СЗ	6	6			
5	30	2150	СВ	11	8	$p = 0,02 * \exp(0,09 + 0,31 * t) + ((-0,01 + 0,01 * J) * t + 0,55 - 3,44)$	597,5	0
4	47	2150	СВ	14	10			

Таблица 2

Математическая модель прогноза продолжительности жизни сосновых культур, произрастающих в поясе еловых лесов Прииссыккуля

Пробная площадь	Возраст, лет	ВНУМ, м	Экспозиция склона	ср. Д _{1/3} , см	ср. Н, м	Расчетная математическая модель	t, число лет, через которое наступит гибель насаждения	ср. Д (см), через определенное время
3	60	2250	СВ, 40°	22,6	22,6	$p = 46,17 * \exp((-0,1 + 0,3 * J) * t) + (1,0 + 2,8 * J) * ((0,1 + 0,1 * J) * t + 0,75 - 2,11 * J)$	67,1	0
2	60	2250	СВ, 40°	24	21		100	43,6
6	60	2300	С, 30°	23,7	23,6	$p = -12,51 * \exp((-0,06 + 0,31 * J) * t) + (0,6 + 3,04 * J) * ((0,02 + 0,1 * J) * t + 0,8 - 3,7 * J)$	117	0
5	60	2300	С, 15°	28,8	22		150	62,05

Анализ полученных материалов позволяет сказать, что сосновые культуры, произрастающая на СВ склоне, (пробная площадь №3), проживут меньше, чем на пробной площади №2. При такой густоте культур, как на пробной площади №3 с наибольшей густотой, через 67,1 лет наступит гибель насаждений. На пробной площади №2 – через 100 лет, на момент определенного времени средний диаметр будет составлять 43,6 см.

В среднем подпоясе на высоте 2300 м над уровнем моря, на склоне С экспозиции 60-летние сосновые культуры в 1,5 раза дольше проживут, чем культуры нижнего подпояса. В этом случае оказала влияние крутизна и экспозиция склона. На крутых (40°) СВ склонах создаются более жесткие условия: здесь меньше солнечного света и по шкале инсолируемости освещение считается слабым. Однако, при густом насаждении, как видно из таблицы, культуры на пробной площади №6 проживут до 117 лет. Их средний диаметр через определенное время будет составлять 0 см. На пробной площади №5 гибель сосновых культур наступит через 150 лет, а средний диаметр насаждения будет составлять 62,05 см. Можно предположить, что экологические условия здесь оказались наиболее благоприятными для произрастания сосновых

культур на высоте 2300 м северной экспозиции склона при крутизне не более 30°.

На характеристику насаждений оказывают влияние различные способы посадки, от которых зависят высота, диаметр деревьев, густота, запас древесины. В табл. 3 отражен ход роста групповых культур ели с густым размещением площадок на 1 гектаре (2×1,5 м, 2,2×1,5 м, 2,5×1,5 м, 3×1,5 м). Для сравнения представлен ход роста с редким размещением площадок (3×2 м, 3,5×3 м, 3,5×3,5 м, 3×4 м, 4×4 м, 5×3 м).

В еловых культурах в возрасте 30 лет с густым размещением площадок количество произрастающих деревьев составило 6756 шт./га, а при редком размещении почти в 2 раза меньше - 3944 шт. В посадках с редким размещением к 47-летнему возрасту оно сократилось до 1244 шт./га. При густом размещении площадок происходит медленное сокращение количества деревьев от 6756 до 3333 шт., что влияет на увеличение диаметра.

В молодом возрасте, при редком размещении площадок, первоначальная густота деревьев не сказывается на средних показателях насаждений, но к 47-летнему возрасту диаметр увеличивается уже в два раза, а высота в 1,5 раза, по сравнению с густым размещением.

Таблица 3

Ход роста лесных культур ели

Возраст, лет	Густота деревьев, шт./га	ср. Д _{1/2} , см, ошибка сред. ±m	ср. Н, м, ошибка сред. ±m	Среднее количество сохранившихся деревьев на площадке (2×1 м), шт.	Запас стволной древесины, м ³ /га	Число площадок на 1 га
посадки с густым размещением площадок						
30	6756	5,4±0,3	4,8±0,1	9	75	750
40	4760	8±0,3	9±0,1	7	141	680
47	3333	6±0,3	6±0,2	8	185	416
посадки с редким размещением площадок						
30	3944	7±0,4	6±0,2	6	90	657
40	3564	10,3±0,2	9,8±0,1	6	107	594
47	1244	12,5±0,3	10,7±0,2	4	164	311

При выборе определенного места для создания еловых культур различной густоты используем модель взаимодействия деревьев в древостое, где учитывается эффект конкуренции между ними за свет и питание, а также воздействие ветра, иссушения почвы, подавления роста другими растениями и т.п. В естественных древостоях функция

парциальной экологической полезности (ФПЭП), конкуренция для отдельного дерева будет максимальна, когда вблизи от этого дерева не будут расти другие деревья. С увеличением густоты насаждения конкуренция между деревьями возрастет, а ФПЭП монотонно уменьшится [4]. По численным значениям хода роста ели на

пробных площадях определили суммарную функцию экологической полезности (СФЭП). Произведённые расчёты позволили выявить оптимальное количество деревьев на площадке (рис. 1). Как видно на рис. 1, при густом размещении суммарная функция экологической полезности принимает своё максимальное значение; кривая возвышает-

ся и показывает, что первоначальное количество саженцев ели на площадке, при густом размещении, должно быть равным 7. С редким размещением, по результату вычисления суммарной функции экологической полезности, следует производить посадку 5 саженцев на площадке.

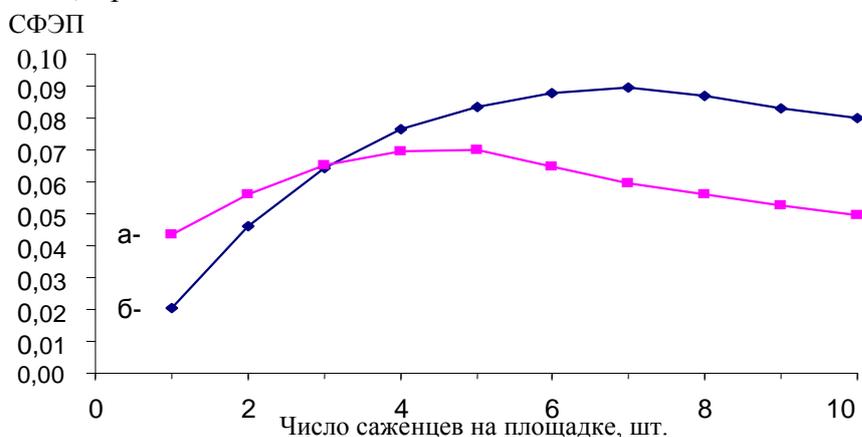


Рис. 1. Суммарная функция экологической полезности для посадок ели на площадке: а – с редким размещением площадок; б – с густым размещением площадок.

Фактически на пробных площадях на одной площадке сохранность составляет в основном от 3 до 9 деревьев, что согласуется с теоретическим расчётом. Максимум суммарной функции экологической полезности при посадках достигается при разных значениях числа деревьев на площадке, зависит от их числа на 1 га и размера площадки. На суммарную функцию экологической полезности влияет ещё одна функция суммарной полезности, выражающая оптимальное число деревьев, зависящих от таких параметров, как размер площадки и их число на 1 га. На рис. 2 представлена зависимость оптимального числа деревьев на

площадке от их числа на 1 га. Здесь видно, что при редком размещении площадок показатель суммарной функций экологической полезности представлен 5 шт. деревьев на площадке, а оптимальное число площадок на 1 га – 350 шт. Такое число деревьев считается оптимальным для устойчивого роста. Согласно расчётам по методу СФЭП, при густом размещении площадок, размером площадки 2 м² с посадкой 7 сеянцев, оптимальное их количество на 1 га составило 650 шт.

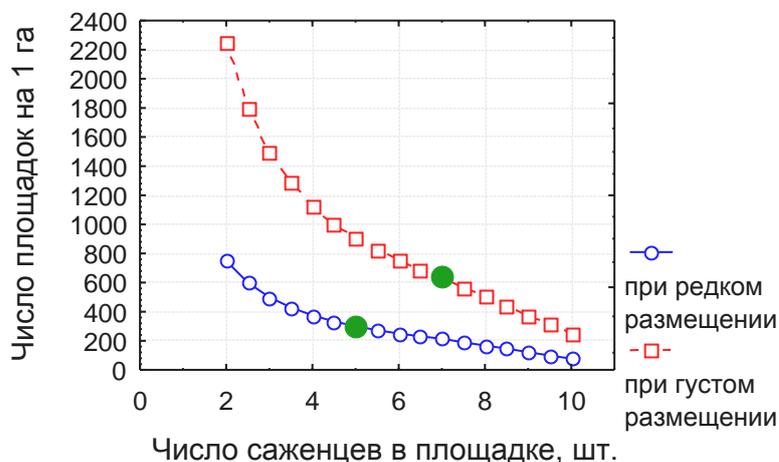


Рис. 2. Зависимость оптимального числа саженцев на площадке от их числа на 1 га.

Рассмотренная выше математическая модель для еловых культур позволила определить способы размещения деревьев в насаждении, что представилось следующим образом: при густом размещении деревьев на лесокультурной площади посадочный материал можно сократить почти в 2,2 раза, т.е. изначально посадку произвести из расчета 4500 саженцев на 1 га. При редком размещении количество саженцев при закладке культур сокращается в 5,7 раза, что позволит высаживать 1750 шт. саженцев на 1 га.

Предложенная ранее П.А. Ганом густая схема размещения площадок осталась прежней (3×1,5 м). При такой схеме размещения можно создавать еловые культуры в неблагоприятных, т.е. в жестких лесорастительных условиях. В благоприятных – следует создавать лесные культуры из расчета 350 площадок на 1 га с размещением их по одной из следующих схем: 4,5×4, 5×3,5, 4×4 м.

Для определения функции парциальной экологической полезности использовался фактический материал при обследовании сосновых культур, которые создавались при густом размещении площадок с расстоянием в ряду и между ними 2×1,5 м, 2,2×1,5 м, 2,5×1,5 м, 3×1,5 м, размером площадки 2×1 м, высаживалось по 10 саженцев. Для сравнения взяли сосновые культу-

ры с редким размещением площадок 4×4 м, 5×3 м, размер площадок 2×1 м, с посадкой 10 саженцев на площадку. Ход роста лесных культур сосны обыкновенной приведён в табл. 4.

Сосновые культуры с густым размещением в возрасте 35-60 лет характеризуются небольшим отпадом. В 35-летнем возрасте среднее число деревьев на площадке составило 8 шт., при редком размещении – среднее число деревьев на площадке – 5 шт. В посадках с густым размещением количество площадок создавалось почти 2 раза больше, однако результаты запаса стволовой древесины оказались одинаковыми и составляют 200 м³/га.

Культуры с густым насаждением, достигшие возраста второго класса, становятся неустойчивыми. К 60-летнему возрасту, независимо от способа посадки, они дают неодинаковый запас стволовой древесины. Так как густые насаждения имеют большое количество деревьев, отставших в росте, то запас древесины идет за счет количества экземпляров. При наименьшем количестве деревьев на гектаре и расположении площадок реже друг от друга (4,5×4, 5×3,5, 4×4 м), в этом возрасте, сосновый древостой становится более устойчивым к различным природно-климатическим факторам.

Таблица 4

Ход роста лесных культур сосны обыкновенной

Возраст, лет	Густота деревьев, шт./га	ср. Д _{1,3} , см, ошибка сред. ±m	ср. Н, м, ошибка сред. ±m	Среднее количество сохранившихся деревьев на площадке (2×1 м), шт.	Запас стволовой древесины, м ³ /га	Число площадок на 1 га
посадки с густым размещением площадок						
35	3766	12,8±0,2	12,8±0,1	8	231	610
60	2772	22,6±0,4	22,6±0,2	7	718	396
посадки с редким размещением площадок						
35	1834	15,8±0,4	12±0,2	5,4	217	339
60	1960	24±0,4	21±0,3	5	532	392

Построим простую модель взаимодействия деревьев в древостое, где учитывается эффект конкуренции между ними. На рис. 3 представлена зависимость величины суммарной функции экологической полезности от числа деревьев. Как видно из графика,

при редком размещении площадок суммарная функция экологической полезности увеличивается до значения 0,065, при котором число деревьев на площадке равно 5 или 6 шт.

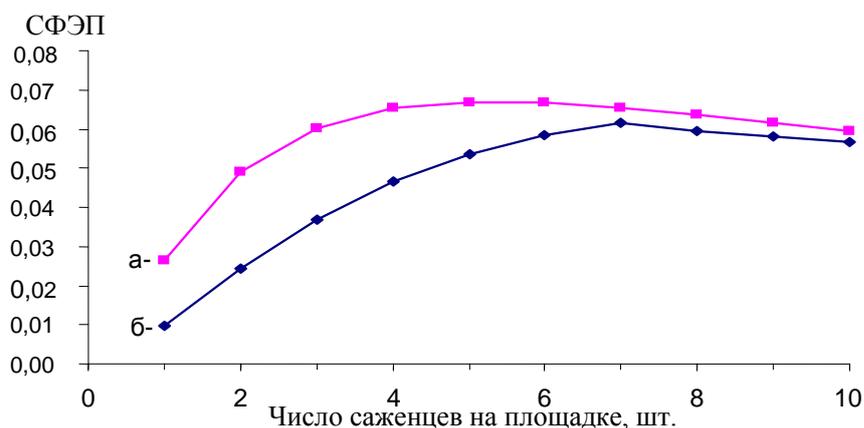


Рис. 3. Суммарная функция экологической полезности для посадок сосны на площадку: а – с редким размещением площадок; б – с густым размещением.

Верхнее значение второй кривой (б) составляет 0,057, что свидетельствует о том, что оптимальное количество саженцев на площадке с густым размещением должно быть равным 7. Полученный графический материал согласуется с теоретическим расчётом количества деревьев на площадке равным от 4 до 8 шт. Таким образом, суммарная функция экологической полезности

может влиять на оптимальное количество деревьев и на число площадок на 1 га.

Исходя из данных, полученных при определении СФЭП, произведён математический расчёт необходимого числа саженцев на площадке в зависимости от количества площадок на 1 га. Материал представлен в виде графика на рис. 4.

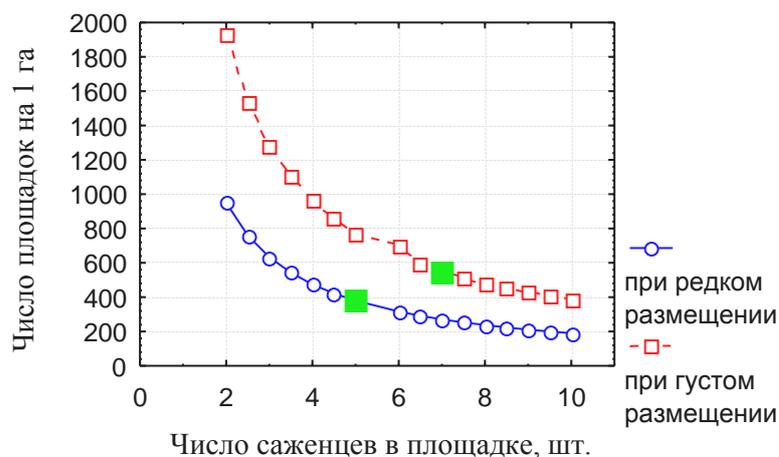


Рис. 4. Зависимость оптимального числа саженцев на площадке от числа площадок на 1 га.

Из графика видно, что при посадке 5 шт. саженцев на площадку подготовка почвы должна производиться из расчета 380 площадок на 1 га. На основании полученных данных, можно рассчитать количество саженцев, необходимых для закладки 1 га культур. При редком размещении площадок (380 шт. на 1 га) потребуется 1900 саженцев сосны обыкновенной при схеме размещения площадок 4×3,2 м.

При схеме густого размещения площадок (550 шт. на 1 га) на площадке должно быть 7 саженцев (рис. 3-б). В этом случае количество посадочного материала сокра-

щается почти в 2,5 раза, по сравнению с 10 тыс. шт./га (при посадке 10 саженцев на площадку). При таком методе сосновое насаждение будет устойчивым.

Вычисленные модели, рассмотренные выше, позволяют объяснить устойчивость насаждения от способа размещения площадок и количества высаженных растений. Такие посадки экономически выгодны, так как требуют меньше посадочного материала и трудозатрат.

Правильный выбор способа создания лесных культур позволит получить устойчивые насаждения и увеличить площадь

еловых лесов Прииссыккуля, выполняющих водоохранную, почвозащитную, про-

тивоэрозионную и другие функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мусуралиев Т.С. Еловые леса Кыргызстана [Текст] /Т.С. Мусуралиев, В.Д. Замошников // Лес-Токой. 2002. № 23.С. 31-36.
2. Математическое моделирование биогеоценотических процессов /[С.И. Спиридонова, С.В. Фесенко, Ю.А. Томин, Р.М. Алексахин]. М.: Наука. 1985. 68 с.
3. Протопопов Г.Ф. Принципы классификации еловых лесов Киргизии [Текст] /Г.Ф. Протопопов. Фрунзе: Кыргызстан. 1960. 25 с.
4. Суховольский В.Г. Моделирование влияния типа посадок на рост и продуктивность древостоев [Текст] /В.Г. Суховольский, Р.Г. Хлебопрос //Сиб. экол. журн. 1999. № 4. С. 397-402.
5. Чеботарев И.Н. Современное состояние и перспективы ведения хозяйства в еловых лесах Киргизии [Текст] /И.Н. Чеботарев //Проблемы восстановления и развития еловых лесов Киргизии: Сб. науч. тр. Фрунзе. 1960.- С. 7-23.
6. Источник интернета:
<http://dmb.biophys.msu.ru>