

ВЕСТНИК 2(12) 2011

МАРИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит три раза в год

СЕРИЯ «Лес. Экология. Природопользование»

Журнал включен в **ПЕРЕЧЕНЬ** ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (решение Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 19 февраля 2010 г. №6/6)

Учредитель:

ФГБОУ ВПО «Марийский государственный технический университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия (свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-30176 от 02.11.07)

Полное или частичное воспроизведение материалов, содержащихся в настоящем издании, допускается только с письменного разрешения редакции.

Адрес редакции:

424006, Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17

Тел. (8362) 68-78-46, 68-28-41

Факс (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@marstu.net

Главный редактор **Е. М. Романов**

Главная редакционная коллегия:

Е. М. Романов, д-р с.-х. наук, профессор
(главный редактор)

В. А. Иванов, д-р физ.-мат. наук, профессор
(первый зам. гл. редактора)

А. Д. Арзамасцев, д-р экон. наук, профессор
(зам. гл. редактора)

С. А. Денисов, д-р с.-х. наук, профессор
(зам. гл. редактора)

Н. В. Рябова, д-р физ.-мат. наук, профессор
(зам. гл. редактора)

А. Н. Леухин, д-р физ.-мат. наук, профессор
(отв. секретарь)

Редакционная коллегия серии:

С. А. Денисов, д-р с.-х. наук, профессор
(зам. гл. редактора – редактор серии)

В. П. Бессчетнов, д-р биол. наук, профессор
(Нижний Новгород)

О. Н. Бурмистрова, д-р техн. наук, профессор (Ухта)

Р. И. Винокурова, д-р биол. наук, профессор

П. Ф. Войтко, д-р техн. наук, профессор

Ю. Н. Гагарин, канд. с.-х.н., исполнительный директор Международного института леса (Москва)

А. Х. Газизуллин, д-р с.-х. наук, профессор (Казань)

Ю. П. Демаков, д-р биол. наук, профессор

А. С. Исаев, академик РАН (Москва)

А. И. Писаренко, д-р с.-х. наук, профессор,
академик РАСХН (Москва)

А. Г. Поздеев, д-р техн. наук, профессор

Е. М. Романов, д-р с.-х. наук, профессор

М. Г. Салихов, д-р техн. наук, профессор

Ю. А. Ширнин, д-р техн. наук, профессор

В. Л. Черных, д-р с.-х. наук, профессор

Редактор **Т. А. Рыбалка**

Дизайн обложки **Л. Г. Маланкина**

Компьютерная верстка

А. А. Кислицын

Перевод на английский язык

М. А. Шалагина

Подписано в печать 22.09.11.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 13,00

Тираж 500 экз. Заказ

Марийский государственный
технический университет

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «Реклайн»

424007, Йошкар-Ола,
ул. Строителей, 95

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Н. Н. Бессчетнова. К методике определения периода критического обезвоживания хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)

М. В. Ермакова, Н. С. Иванова. Особенности структуры молодняков *Pinus sylvestris* L. искусственного и естественного происхождения на вырубках Среднего Урала

Ю. П. Демаков, А. Е. Смыков, Н. Н. Гаврицкова. Структура, продуктивность и динамика осинников Республики Марий Эл

А. В. Кобяков, С. Л. Рысин. Опыт разработки перспективных типов лесных культур для урбанизированных территорий

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

И. В. Григорьев, М. В. Цыгарова, А. И. Жукова, Д. В. Лепилин, Г. Ю. Есин. Планирование эксперимента при исследовании взаимодействия трелевочной системы с волоком

А. В. Егоров. Инерционный метод оценки энергетической эффективности гусеничных лесных машин

А. Н. Чемоданов, М. В. Боярский, Рен. Х. Гайнуллин, Риш. Х. Гайнуллин. О точности определения усилия резания при продольном строгании древесины

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Ю. П. Демаков, И. И. Митякова. Пространственная неоднородность почвенного агрофона лесного питомника и ее влияние на биометрические показатели сеянцев

Р. И. Винокурова, О. В. Лобанова. Специфичность распределения макроэлементов в органах древесных растений елово-пихтовых лесов Республики Марий Эл

А. Г. Поздеев, С. Ф. Киркин, С. Я. Алибеков, Ю. А. Кузнецова. Совершенствование оценки экологического состояния линейных частей нефтепроводов на территориях с интенсивным карстообразованием

А. Г. Поздеев, В. П. Сапцин, Ю. А. Кузнецова. Обобщение модели экологии популяций Лотки-Вольтерры на основе принципов системной динамики

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

В. Б. Загуменников. Книга по интродукции элеутерококка колючего

Информация для авторов

CONTENTS FORESTRY

N. N. Besschetnova. To the methods of critical water loss determination of the needles of plus trees of scotch pine (*Pinus sylvestris* L.)

3

M. V. Ermakova, N. S. Ivanova. Structures peculiarities of *Pinus sylvestris* L. young growth of artificial and natural origin at the fellings of the Middle Urals

13

Yu. P. Demakov, A. E. Smykov, N. N. Gavric-kova. Structure, productivity and dynamics of Mari El Republic aspen forests

24

A. V. Kobyakov, S. L. Rysin. Experience of long-term types forest plantations development for urban territories

39

FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

I. V. Grigoriev, M. V. Tsygarova, A. I. Zhukova, D. V. Lepilin, G. Yu. Esin. Design of experiment in the research of interaction of logging system with logway

47

A. V. Egorov. Inertial method of track-type forest vehicles energetic efficiency assessment

55

A. N. Chemodanov, M. V. Boyarsky, Ren. Kh. Gainullin, Rish. Kh. Gainullin. To the question on accuracy of woodcutting force definition at longitudinal planing

61

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE EXPLOITATION

Yu. P. Demakov, I. I. Mityakova. Spatial heterogeneity of soil agricultural background of forest nursery and its influence on biometrics parameters of seedlings

68

R. I. Vinokurova, O. V. Lobanova. Specificity of distribution of macrocells in parts of wood plants of spruce-fir forests in the Republic of Mari El

76

A. G. Pozdeev, S. F. Kirkin, S. Ya. Alibekov, Yu. A. Kuznetsova. Assessment improvement of linear pipelines ecological state in the areas with intense karstification

84

A. G. Pozdeev, V. P. Saptsin, Yu. A. Kuznetsova. Generalization of ecology model of Lotka-Volterra population based on system dynamics

94

DATES. EVENTS. COMMENTS

V. B. Zagumennikov. Book on introduction of spiny eleuterococcus

102

Information for the authors

104

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*165.6 + 630*232.311.3

Н. Н. Бессчетнова

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРИОДА КРИТИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ХВОИ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS L.*)

Темпы потери критического количества воды хвоей плюсовых деревьев сосны обыкновенной выступают надежным критерием оценки их селекционных преимуществ. Уравнения регрессии эффективны при определении периода 50 % водопотери образцов хвойных растений. Их привлечение для анализа этого процесса может расширить арсенал существующих методов исследования.

Ключевые слова: *сосна обыкновенная, плюсовые деревья, клоны, темпы водопотери хвои.*

Введение. Интенсификация отечественного лесного хозяйства, как стратегия его развития на современном этапе, обеспечение непрерывного и неистощительного использования лесов возможны только на основе применения достижений в селекции важнейших видов древесных растений [1–6]. Данные обстоятельства, а также активизация искусственного лесовыращивания в самом широком смысле этого слова, которая наблюдается у нас в стране в последние годы, предполагает мобилизацию для её реализации всех имеющихся ресурсов лесосеменной базы и питомнического хозяйства. Острота проблемы высветилась в связи с чрезвычайной лесопожарной обстановкой в 2010 году и возникшей в этой связи необходимостью масштабного восстановления лесов в Нижегородской области и других субъектах Российской Федерации. Основным источником семян с улучшенными свойствами для производства высококачественного посадочного материала служит постоянная лесосеменная база (ПЛСБ), развернутая на селекционно-генетической основе, и, прежде всего, входящие в её состав лесосеменные плантации (ЛСП) вегетативного происхождения. Важнейшим условием их создания выступает формирование адаптивного ассортимента плюсовых деревьев [7–11].

Водоудерживающую способность традиционно связывают с засухоустойчивостью растений и с их резистентностью в отношении широкого перечня лимитирующих факторов в целом. Способность противостоять дефициту влаги (почвенной и атмосферной

засухе) рассматривается как одно из важных преимуществ. Такие признаки отобранного материала, плюсовых деревьев сосны обыкновенной в том числе, нередко оказываются важными, особенно в вододефицитные периоды года, что периодически наблюдается в условиях Среднего Поволжья. Лето 2010 года выступает наглядным примером реальности возникновения таких ситуаций. Объекты, лучше других переносящие отмеченные критические этапы, обладают большей способностью к накоплению биомассы (лучшими приростными характеристиками), могут обеспечить более высокий репродуктивный уровень – им свойственны большее количество и лучшая сохранность жизнеспособных семян [12–15].

В контексте перечисленных задач весьма полезной рассматривается разработка и предметно-объектная адаптация средств и приемов надежной идентификации отобранных плюсовых деревьев и адекватной оценки их селекционных преимуществ. Важным направлением таких исследований выступает совершенствование методического аппарата, обеспечивающего изучение адаптивных признаков растений и их свойств, определяющих сопротивляемость воздействию неблагоприятных факторов среды, в частности устойчивости к дефициту влаги.

Цель работы – адаптировать на основе детализации и модификации метод определения водоудерживающей способности хвои сеянцев хвойных растений, предложенный М.М. Котовым, применительно к плюсовым деревьям сосны обыкновенной при оценке различий между ними.

Методы и объекты исследования. В течение 2006 – 2010 гг. нами проводились исследования водоудерживающей способности хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной, представленных комплексами своих клонов в их архивах и на лесосеменных плантациях, расположенных в Нижегородской области в составе предприятий и учреждений лесного хозяйства. Объектом исследований выступали клоны плюсовых деревьев сосны обыкновенной, сосредоточенные в их архивах и представленные на лесосеменных плантациях государственного учреждения Нижегородской области (ГУ НО) «Семеновский спецсемлесхоз». Первичной единицей выборки служила навеска из 20 пар (пучков) нормально развитых однолетних хвоинок без признаков повреждения какими-либо внешними факторами. Их брали из центральной части прироста последнего года и помещали в отдельный пластиковый стаканчик емкостью 0,21 л, этикетировали по плюсовым деревьям, раметам, учетным побегам. С каждого учетного растения (раметы) срезалось по 3 – 8 побегов. Материал заготавливался одновременно с периферии среднего яруса хорошо освещенного участка кроны клонов, сосредоточенных в архивах № 1, 4 и на лесосеменных плантациях № 2, 24 ГУ НО «Семеновский спецсемлесхоз» и № 1 Сокольской лесосеменной станции в Нижегородской области. Плюсовые деревья (ПД) на этих объектах представлены следующим количественным составом: архив клонов № 1 – 23 ПД; архив клонов № 4 – 30 ПД; ЛСП № 2 – 19 ПД; ЛСП № 24 – 36 ПД; ЛСП №1 – 16 ПД. Их сравнительная оценка давалась по каждому опытному участку отдельно при соблюдении принципа единственного логического различия. В число анализируемых объектов также был включен комплекс образцов 48 плюсовых деревьев, использованных для создания ЛСП во Владимирской области. Заготовленные побеги в увлажненном состоянии хранились при низкой положительной температуре 0...+5⁰С. Каждое плюсовое дерево (ортет) в опыте представлено не менее чем тремя своими клонами (раметами). При выполнении исследований учитывали действующие методические разработки [16 – 21].

Лабораторный анализ выполнен в аналитической лаборатории кафедры лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. Условия

проведения лабораторного опыта также обеспечивали соблюдение принципа единственного логического различия. Все образцы высушивались при одинаковой температуре (20 – 23° С), что фиксировалось термометрами, в одинаковых условиях освещенности и влажности воздуха (одна лаборатория), одинаковых емкостях для сушки каждого образца и прочих равных условиях для каждого из них. Взвешивание осуществлялось на электронных весах с точностью до 0,001 г. В дисперсионных комплексах сопоставляли клоны только тех плюсовых деревьев, которые введены в состав одного архива клонов или одной ЛСП.

Для достижения состояния полного насыщения водой, сразу после определения массы свежесобранной хвои, пучки намачивались в течение часа, а после извлечения из воды с них удаляли её капли с помощью фильтровальной бумаги. В таком состоянии у навески вновь определяли массу, после чего она укладывалась в отдельный пластиковый стаканчик, что не препятствовало свободному высыханию. Все этапы опыта с момента установки и до окончания высушивания осуществлялись в одном помещении. Через каждые 24 часа производилось повторное взвешивание образцов, после чего их досушивали. По истечении 120 часов навеска упаковывалась в отдельный бумажный пакет с этикеткой и размещалась для воздушной сушки в течение не менее, чем 4-х месяцев. Затем она извлекалась, взвешивалась и помещалась на 8 часов в сушильный шкаф с температурой 105° С, где достигала абсолютно сухого состояния (стабильной массы), после чего взвешивалась последний раз. Такой подход позволял получить количественные оценки наличия в исследуемом материале воды, выраженные в процентах от её общей массы, содержащейся в навеске.

Результаты исследований и их обсуждение. На режим потери влаги образцом хвои (метамерами фотосинтезирующего аппарата в широком смысле) влияют условия высушивания. Наиболее высокие темпы водопотери фиксируются при свободной сушке хвои на листке фильтровальной бумаги. Размещение образца хвои в бумажные и пластиковые емкости или контейнеры различной формы снижает скорость потери влаги хвоей по отношению к условиям её высушивания на открытой поверхности. Вместе с тем, следует учитывать тот факт, что повышение скорости потери влаги: возрастание доли потерянной воды за единицу времени (за 1 час или за 24 часа), – сокращает общий период наблюдений, но снижает чувствительность опыта. Предварительное тестирование его условий в интервале сроков 72 ... 168 часов позволило установить оптимальный режим – 120 часов. Для подавляющего большинства образцов этот период оказался достаточным для перехода показателя содержания воды через точку критического обезвоживания тканей (КОТ) – 50 %, который соответствует пограничному физиологическому состоянию растений. Основной причиной их дифференциации по этому показателю является неодинаковое соотношение в тканях связанной воды [17 – 19]. Время потери половины содержащейся в хвое воды выступает тестирующим параметром в сравнительной оценке клонов плюсовых деревьев. В соответствии с рекомендациями М.М. Котова [17 – 19] использовали алгоритм пропорциональной интерполяции для вычисления значения времени (в часах) до наступления критического состояния обезвоживания ($T_{50\%}$): $T_{50\%} = 24 / (P_2 - P_1) \times (50 - P_1) + T_1$. Здесь P_1 – процент содержания воды, учтенный непосредственно перед достижением точки КОТ; P_2 – процент содержания воды, зафиксированный сразу после точки КОТ; T_1 – значение времени последнего перед критическим переходом учета. Согласно ему фиксировали потерю влаги в процентах на отрезке времени между двумя последовательными учетами (24 часа), в пределах которого достигается точка КОТ: $24 / (P_2 - P_1)$, что позволяет определить, сколько часов потребуется для потери на единицу её количества, например: на 1 % вла-

ги. При этом в общем периоде наблюдений при учете массы высушиваемой хвои каждые 24 часа используются те значения влажности, между которыми находится точка КОТ: P_1 и P_2 . Этот показатель равен обратному значению скорости водопотери (её значению в степени «-1»). Данная процедура позволяет соотнести продолжительность периода высушивания с количеством потерянной воды и установить цену деления шкалы оценок: сколько времени потребуется для потери 1% влаги.

Следующим элементом расчетной формулы ($P_2 - P_1$) выступает разность между значениями двух взвешиваний при заданном временном интервале высушивания для каждого из них. Поскольку в расчет введена величина интервала в 24 часа, то берутся значения двух последовательных учетов, выполняемых через данный отрезок времени. В соответствии с тем, что наиболее равномерное изменение значений оцениваемого показателя – массы, выраженной в процентах от общего количества влаги, – наблюдается на завершающем этапе опыта, целесообразно использовать последнее и предпоследнее значения, а именно разницу между ними. Принципиально, разница значений массы хвои или величина её водопотери может быть установлена для двух любых сроков учета с любым, но определенным отрезком времени между ними. В этом случае в первом элементе расчетной формулы используют не 24 часа, а тот интервал времени, который фактически зафиксирован между двумя сопоставляемыми сроками учета, например 12 часов или 48 часов и т.п. В абсолютном смысле в алгоритм расчета вводятся элементы: некоторый интервал времени между двумя сопоставляемыми сроками учета водопотери (любыми в границах периода наблюдений) и собственно величина потери влаги за установленный в таком порядке интервал сроков учета.

Далее определяют разницу в процентах между критическим уровнем содержания воды (50 %) и содержанием воды в конкретный (принципиально, любой, но определенный и указанный в часах) срок учета (например, в последний срок учета до перехода через 50-процентный рубеж – P_1). Если выбранный срок учета характеризуется содержанием воды меньше 50 %, то разность будет положительной, если же наоборот, то – отрицательной. Произведение «цены деления» – количества часов, в течение которых теряется 1 % влаги, на количество процентов потерянной влаги за тот период времени, по которому определена «цена деления», даст значение времени в часах, необходимое для потери установленного количества воды. При этом, если разность была положительной, то и полученное произведение будет положительным, в противном случае – отрицательным.

Суммируя полученный интервал времени в часах со значением времени последнего перед критическим переходом учета (T_1), вычислим количество часов, требуемое для достижения критического уровня содержания воды при высушивании хвои. Здесь следует обратить внимание, если последний срок учета не обеспечивает переход через 50-процентный рубеж, а следовательно, насыщенность хвои водой в этот момент выше указанного предела, то в расчетной формуле «первое слагаемое», вычисленное нами, будет положительным. Логически такая ситуация соответствует тому состоянию объекта, когда переход значений через 50 % произойдет после обозначенного срока учета, и в процессе вычисления к установленному количеству часов придется прибавить «первое слагаемое». Если же последний срок учета зафиксирован после факта перехода показателя через 50-процентный порог, а значит, изучаемый материал уже утратил больше половины накопленной влаги, то разность окажется отрицательной. Тогда от последнего значения времени отнимают величину «первого слагаемого». Принципиально последнее наблюдение может выполняться намного позже фактического перехода через 50 % или намного раньше него. Вместе с тем в опубликованных рекоменда-

ях [17 – 19] предусмотрено использование срока учета, следующего сразу после этого перехода.

Детализация и адаптация алгоритма М.М. Котова [17 – 19] позволила представить его расчетную формулу в виде

$$T_{50\%} = (T_2 - T_1) / (P_2 - P_1) \times (50 - P_1) + T_1,$$

где: T_1 – значение времени в часах на момент учета до перехода критического порога; T_2 – значение времени в часах на момент учета после перехода критического порога. В общем случае эти сроки фиксации состояний могут быть любыми: 1 час или 18 час. 25 мин. и т.п., но конкретно обозначенными. P_1 и P_2 – оценки потерянной при высушивании образца воды, выраженные в процентах от массы абсолютно сухой хвои, зафиксированные в установленные сроки (T_1 и T_2). В таком виде формула была введена в расчетный алгоритм электронных таблиц Excel [22].

Рассматривая процесс высушивания как испарение некоторой части воды с течением времени, мы использовали для его математического описания различные виды функций: $y = ax + b$; $y = ax^2 + bx + c$; $y = a \ln(x) + b$ и др., в которых y – продолжительность периода потери 50 % влаги, выраженная в часах; x – процент водопотери хвои, фиксируемый каждые 24 часа на протяжении всего периода наблюдений. Вычисление продолжительности периода потери половины содержащейся в хвое воды выполняли посредством решения уравнений регрессии, задавая значение функции 50 %.

Установлено, что уравнение прямой линии дает вполне адекватную характеристику динамики водопотери, о чем свидетельствуют высокие значения показателя достоверности аппроксимации (в подавляющем большинстве случаев R^2 превышает 0,80). В этом отношении функция по надежности близка к полиному второго порядка. Описанная процедура выполнялась для каждой навески и для усредненных значений каждого учетного растения. Использование уравнений регрессии позволяет более детально анализировать отдельные этапы общего периода высушивания и обеспечивает возможность сравнения плюсовых деревьев не только по одной оценке статического состояния, но и по собственно динамике процесса. Примером применения уравнений регрессии для вычисления значений периода критической потери влаги служит материал, представленный в табл. 1.

Такие же комплексы уравнений были составлены для каждого из опытных участков (ЛСП № 24, 2, 1, архив клонов № 1, 4), по всем срокам учета (2006 – 2010 гг.). Полученные с их помощью значения критического периода оказались вполне адекватными. Структура уравнений прямой линии (см. табл. 1), описывающих рассматриваемый процесс, достаточно сходна (относительно размерности и знаков коэффициентов перед аргументом и свободных членов). Вместе с тем легко обнаруживаются различия в величинах коэффициентов перед аргументом. Они определяют угол наклона прямой относительно оси абсцисс, что адекватно скорости потери влаги в образце в целом: величина коэффициента прямо пропорциональна скорости потери влаги навеской. Различия в коэффициентах позволяют установить те образцы, у которых темпы водопотери выше, и наоборот. Как видим (см. табл. 1), эти значения сравнительно близки. Количественная градация коэффициентов перед аргументом (например, распределение по критерию «Норма») позволит разделить всю совокупность объектов на группы по темпам водопотери: «быстрые», «средние», «медленные». Величины свободного члена уравнения показывают, насколько велика приподнятость линии над осью абсцисс. Различия в этом отношении соответствуют неодинаковому характеру процесса потери влаги хвоей от момента её полного насыщения влагой, до момента достижения равномерного сниже-

Т а б л и ц а 1

**Уравнения зависимости темпов водопотери хвои от продолжительности периода ее высушивания
у плюсовых деревьев в составе архива клонов № 1 ГУ НО «Семеновский спецсмелсхоз»**

Клон	Полный цикл, все навески клона	R ²	По усредненным значениям	R ²	От 24 часов	R ²	По двум последним учетам	R ²
2	3	4	5	6	7	8	9	
К-14	$y = 0,48x + 9,37$	0,90	$y = 0,48x + 9,37$	0,92	$y = 0,36x + 19,69$	0,92	$y = 0,15x + 43,25$	1
К-3	$y = 0,59x + 6,63$	0,92	$y = 0,59x + 6,63$	0,97	$y = 0,51x + 13,93$	0,87	$y = 0,27x + 40,95$	1
К-19	$y = 0,42x + 11,34$	0,79	$y = 0,42x + 11,34$	0,86	$y = 0,27x + 23,81$	0,71	$y = 0,18x + 32,92$	1
К-6	$y = 0,42x + 6,82$	0,90	$y = 0,42x + 6,82$	0,95	$y = 0,34x + 14,33$	0,86	$y = 0,31x + 17,07$	1
К-22	$y = 0,34x + 6,20$	0,87	$y = 0,34x + 6,20$	0,93	$y = 0,26x + 13,02$	0,81	$y = 0,20x + 19,29$	1
К-1	$y = 0,42x + 8,43$	0,88	$y = 0,42x + 8,43$	0,92	$y = 0,32x + 17,70$	0,86	$y = 0,19x + 30,78$	1
К-5	$y = 0,43x + 9,86$	0,82	$y = 0,43x + 9,86$	0,90	$y = 0,31x + 20,71$	0,73	$y = 0,23x + 29,29$	1
К-17	$y = 0,47x + 12,51$	0,78	$y = 0,47x + 12,51$	0,87	$y = 0,31x + 26,28$	0,67	$y = 0,26x + 31,69$	1
К-18	$y = 0,45x + 9,32$	0,89	$y = 0,45x + 9,32$	0,91	$y = 0,34x + 19,57$	0,89	$y = 0,24x + 29,11$	1
К-40	$y = 0,44x + 9,99$	0,84	$y = 0,44x + 9,99$	0,89	$y = 0,31x + 20,97$	0,77	$y = 0,22x + 30,82$	1
К-41	$y = 0,38x + 8,24$	0,82	$y = 0,38x + 8,24$	0,90	$y = 0,28x + 17,30$	0,71	$y = 0,23x + 22,59$	1
К-45	$y = 0,46x + 10,27$	0,88	$y = 0,46x + 10,27$	0,90	$y = 0,33x + 21,56$	0,90	$y = 0,24x + 30,07$	1
К-47	$y = 0,39x + 6,98$	0,85	$y = 0,39x + 6,98$	0,93	$y = 0,31x + 14,65$	0,76	$y = 0,26x + 18,99$	1
К-29	$y = 0,40x + 8,45$	0,87	$y = 0,40x + 8,45$	0,91	$y = 0,29x + 17,75$	0,84	$y = 0,25x + 21,49$	1
К-49	$y = 0,49x + 9,73$	0,86	$y = 0,49x + 9,73$	0,92	$y = 0,37x + 20,44$	0,80	$y = 0,24x + 33,97$	1
К-39	$y = 0,47x + 10,04$	0,90	$y = 0,47x + 10,04$	0,90	$y = 0,35x + 21,09$	0,94	$y = 0,24x + 31,56$	1
К-21	$y = 0,40x + 8,67$	0,88	$y = 0,40x + 8,67$	0,90	$y = 0,29x + 18,21$	0,90	$y = 0,22x + 24,55$	1
К-20	$y = 0,41x + 6,99$	0,87	$y = 0,41x + 6,99$	0,94	$y = 0,32x + 14,69$	0,80	$y = 0,20x + 27,47$	1
К-30	$y = 0,44x + 11,33$	0,81	$y = 0,44x + 11,33$	0,87	$y = 0,30x + 23,80$	0,72	$y = 0,20x + 34,26$	1
К-42	$y = 0,47x + 10,83$	0,84	$y = 0,47x + 10,83$	0,87	$y = 0,33x + 22,75$	0,78	$y = 0,12x + 44,95$	1
Контроль	$y = 0,47x + 10,83$	0,84	$y = 0,47x + 10,83$	0,89	$y = 0,33x + 22,75$	0,78	$y = 0,12x + 44,95$	1

Т а б л и ц а 2

Продолжительность периода потери критической массы воды (час.), вычисленная разными методами для клонов плюсовых деревьев в составе ЛСП № 24

№	Клон	Полный цикл	По усредненным значениям	От 24 часов	По двум последним учетам	Общее	Усредненное	Среднее
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	К-3	113,23	113,23	123,63	126,09	127,86	129,16	128,57
2	К-5	127,49	127,49	139,99	144,55	148,65	147,26	146,87
3	К-6	114,97	114,97	123,49	127,67	127,05	129,03	129,32
4	К-14	142,59	142,59	157,48	165,56	167,01	176,30	176,12
5	К-17	136,34	136,34	156,44	169,91	172,80	171,40	173,77
6	К-18	112,58	112,58	121,66	126,17	130,17	131,84	133,03
7	К-19	106,45	106,45	115,48	117,27	118,36	117,54	117,89
8	К-20	95,74	95,74	98,69	99,20	105,19	102,31	101,79
9	К-21	116,62	116,62	127,23	138,28	140,98	140,69	140,90
10	К-22	110,23	110,23	118,61	121,84	125,22	126,94	127,40
11	К-29	175,43	175,43	210,69	216,04	215,81	216,83	217,38
12	К-30	89,46	89,46	89,93	82,99	84,45	88,46	88,34
13	К-38	92,00	92,00	93,27	91,35	96,68	92,13	92,40
14	К-39	113,64	113,64	121,72	123,42	124,01	121,67	125,55
15	К-40	123,63	123,63	135,131	138,01	137,92	139,71	140,32
16	К-41	105,03	105,03	111,05	113,43	114,82	114,45	113,37
17	К-44	97,54	97,54	102,29	102,29	106,64	108,36	106,60
18	К-45	121,05	121,05	131,56	138,84	143,30	149,63	150,25
19	К-47	139,02	139,02	156,97	169,77	169,18	170,87	176,65
20	К-49	92,57	92,57	94,11	92,462	91,682	92,92	93,57
21	К-95	85,80	85,80	83,76	75,60	83,23	85,30	86,55
22	К-96	90,83	90,83	91,80	88,79	92,44	92,45	93,89
23	К-98	120,64	120,64	130,74	136,22	140,17	146,22	146,32
24	К-99	129,74	129,74	142,81	153,14	156,04	161,03	161,53
25	К-101	104,77	104,77	111,43	114,61	116,22	117,39	115,86
26	К-106	96,33	96,33	100,92	101,92	107,03	102,28	104,95
27	К-108	105,25	105,25	111,08	114,05	114,19	114,04	114,29
28	К-109	88,54	88,54	88,71	87,19	87,60	89,24	89,25
29	К-121	156,25	156,25	191,57	189,49	195,21	216,21	195,98
30	К-170	135,94	135,94	151,49	157,31	166,25	176,70	168,45
31	К-172	94,30	94,30	97,42	98,03	97,70	97,30	97,74
32	К-173	101,99	101,99	105,20	106,80	108,22	107,45	107,20
33	К-199	105,63	105,63	113,10	115,35	114,67	115,47	115,92
34	К-206	99,96	99,96	104,41	106,14	104,06	106,10	106,78
35	К-210	135,25	135,25	152,99	153,55	153,62	152,00	152,42
36	К-215	103,82	103,82	109,76	112,93	112,55	112,50	112,34

ния массы хвои, проходящего достаточно активно. Чем выше темпы первичной водопотери, тем больше величина свободного члена уравнения. С помощью указанных уравнений вычислялось время потери критической (50 %) массы воды в хвое сравниваемых плюсовых деревьев сосны обыкновенной. Результаты, полученные на лесосеменной плантации № 24, приведены в табл. 2.

В графы «3», «4», «5» и «6» табл. 2 включены результаты расчетов, выполненных по уравнениям прямой линии. Графа «3» получена с использованием непосредственных показателей учета полного цикла наблюдений (от влагонасыщенной до абсолютно сухой хвои): при построении линий тренда и соответствующих уравнений привлечено все множество точек (в каждом случае по 54 и более). Графа «4» включает в себя результаты вычислений по уравнениям регрессии, построенным по усредненным для каждого плюсового дерева значениям полного цикла учетов. Графа «5» создана из результатов вычислений по всем имеющимся значениям без учета первичной потери в период от 0 до 24 часов. Графа «6» содержит результаты вычисления значений на основе уравнений, построенных по двум последним точкам учета. При заполнении графы «7» использован алгоритм вычисления критического периода для единого обобщенного массива данных по плюсовому дереву в целом. Средние значения непосредственного учета в масштабах плюсового дерева находились по каждому сроку отдельно, после чего величина критического периода определялась по формуле пропорционального расчета. В графу «8» внесены материалы, полученные с использованием алгоритма вычисления периода критической водопотери путем усреднения его значений, первоначально полученных по каждой навеске отдельно. В графу «9» внесены результаты нахождения показателя на основе первоначального обобщения данных по срокам для каждой раметы с последующим расчетом величин по формуле пропорциональной интерполяции. После этого вычисляют среднее значение для плюсового дерева, используя полученные оценки по всем его учетным деревьям.

Нахождение продолжительности периода до наступления критического физиологического состояния по уравнениям регрессии (уравнения прямой линии) дает некоторое отклонение значений от результатов, полученных по итогам пропорционального вычисления. Это может быть объяснено тем, что уравнения прямой линии строили по всем точкам, начиная с первого срока учета. При этом темпы потери воды при высыхании на протяжении всего периода высушивания неодинаковы. Наибольшая потеря влаги фиксируется в первые 24 часа после контрольного намачивания образцов: на этом отрезке времени хвоя наиболее полно насыщена водой и теряет наибольшее количество влаги за фиксированный отрезок времени. В последующем темпы обезвоживания стабилизируются, а на заключительном этапе (перед переходом критического порога) становятся минимальными. Для вычисления следующего по порядку наблюдений значения методом пропорциональной интерполяции предпочтительнее использовать последний отрезок времени и учитывать последний из всех зафиксированных ритмов обезвоживания. Однако для сравнительных оценок между плюсовыми деревьями, возможно, более целесообразно учитывать весь процесс потери воды при свободном высушивании, его динамику и сравнивать сами линии тренда в целом.

Организация опыта позволила применить для анализа его материалов как однофакторный, так и двухфакторный иерархический дисперсионный анализ. В последнем случае фактором высшей иерархии выступали различия между плюсовыми деревьями (ортемами), представленными на каждом из объектов ПЛСБ и ЕГСК комплексами своих клонов – рамет. Фактором низшей иерархии явились различия между собственно учетными деревьями – раментами. Фактором случайных различий или остаточной дисперсии

служили различия между повторностями (разными учетными побегами) одного учетного дерева. В однофакторной схеме в качестве действующего фактора рассматривались собственно различия между плюсовыми деревьями. В итоге установлена существенность различий между плюсовыми деревьями по водоудерживающей способности хвои, позволяющая признать их генотипическую обусловленность.

Выводы.

1. Предложенный М.М. Котовым алгоритм пропорционального интерполирования для вычисления значений времени до наступления пятидесятипроцентного обезвоживания тканей, соответствующего критическому физиологическому состоянию растений, вполне корректно определяет указанный период и обеспечивает получение объективных сравнительных оценок водоудерживающей способности плюсовых деревьев.

2. Привлечение уравнений регрессии для определения сроков потери фиксированного количества воды вполне перспективно для анализа динамики процесса водопотери. Их структурные элементы – коэффициенты при аргументе и свободные члены – выступают надежными характеристиками особенностей процессов потери воды хвоей при её свободном высушивании.

3. Методы определения сроков наступления критического обезвоживания хвои при её свободном высушивании позволяют получить адекватные характеристики водоудерживающей способности фотосинтезирующего аппарата хвойных древесных пород. С их помощью установлена выраженная изменчивость плюсовых деревьев сосны обыкновенной по этому показателю.

Список литературы

1. Яблоков, А.С. Лесосеменное хозяйство / А.С. Яблоков. – М.: Гослесбумиздат, 1965. – 465 с.
2. Правдин, Л.Ф. Леса будущего / Л.Ф. Правдин // Новое в жизни, науке и технике. Сер. «Биология», 11. – М.: Знание, 1971. – 64 с.
3. Коновалов, Н.А. Основы лесной селекции и сортового семеноводства / Н.А. Коновалов, Е.А. Пугач. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 176 с.
4. Правдин, Л.Ф. Научные основы организации устойчивой лесосеменной базы / Л.Ф. Правдин, В.П. Яркин // Научные основы селекции хвойных древесных пород. – М.: Наука, 1978. – С. 125 – 142.
5. Петров, С.А. Система плюсовой селекции / С.А. Петров // Разработка основ систем селекции древесных пород: Тез. докл. совещания. Ч. I. – Рига, 1981. – С. 103 – 105.
6. Яркин, В.П. Долгосрочная программа создания постоянной лесосеменной базы на селекционной основе / В.П. Яркин // Лесное хозяйство. – 1990. – № 11. – С. 34 – 36.
7. Роне, В.М. Генетический анализ лесных популяций / В.М. Роне. – М.: Наука, 1980. – 160 с.
8. Пирагс, Д. М. Лесосеменные плантации: их настоящее и будущее / Д. М. Пирагс // Семенные плантации в лесном семеноводстве: Сб. тр. НПО «Силава». – Рига: Зинатне, 1985. – С. 3 – 10.
9. Ефимов Ю. П. О новой категории семенных плантаций древесных пород в лесном семеноводстве России / Ю.П. Ефимов // Селекция, генетические ресурсы и сохранение генофонда лесных древесных растений (Вавиловские чтения) / Матер. Междунар. научн. конф. – Сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. – Вып. 59. – Гомель, 2003. – С. 200 – 204.
10. Роне, В.М. Генетическое улучшение свойств лесных древесных видов на семенных плантациях / В.М. Роне // Семенные плантации в лесном семеноводстве: Сб. тр. НПО «Силава». – Рига: Зинатне, 1985. – С. 12 – 21.
11. Ефимов, Ю.П. Семенные плантации в селекции и семеноводстве сосны обыкновенной / Ю.П. Ефимов. – Воронеж: Истоки, 2010. – 253 с.
12. Потылев, В.Г. Проблемы лесного селекционного семеноводства / В.Г. Потылев // Лесохозяйственная информация. – 1997. – № 3. – С. 14 – 30.
13. Мольченко, Л.Л. К вопросу ранней диагностики генотипа плюсовых деревьев. / Л.Л. Мольченко // Четвертый съезд всесоюзного общества генетиков и селекционеров имени Н.И. Вавилова. Кишинев, 1 – 5 февраля 1982 г.: тез. докл. – Кишинев: Штиинца, 1982. – Ч. – 3. – С. 61.
14. Царев, А.П. К понятию о селекционно улучшенном и сортовом материале в лесном хозяйстве /

А.П. Царев // Интеграция науки и высшего лесотехнического образования по управлению качеством леса и лесной продукции: Материалы международной научно-практической конференции, 25 – 27 сентября 2001 г. – Воронеж: ВГЛТА, 2001. – С. 378 – 382.

15. Царев, А.П. Вопросы и проблемы плюсовой селекции / А.П. Царев, Н.В. Лаур // Лесной вестник. – 2006. – № 5. – С. 118 – 123.

16. Лир, Х. Физиология древесных растений: Пер. с нем. / Х. Лир, Г. Польстер, Г.-И. Фидлер. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 424 с.

17. Котов, М.М. Метод селекционной оценки сосны на ПЛСУ /М.М. Котов. Экспресс-информация «Лесоразведение и лесомелиорация». Вып. 10. – М., 1981. – 20 с.

18. Котов, М.М. Рекомендации по отбору семян сосны для посадки на лесосеменные плантации /М.М. Котов. – Йошкар-Ола, 1987. – 13 с.

19. Котов, М.М. Отбор семян сосны для лесосеменных плантаций /М.М. Котов // Лесное хозяйство. – 1995. – № 1. – С. 44 – 46.

20. Крамер, Пол Д. Физиология древесных растений: Пер. с англ./ Пол Д. Крамер, Теодор Т. Козловский. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 464 с., ил.

21. Либберт, Э. Физиология растений: Пер. с нем. / Э. Либберт – М.: Мир, 1976. – 582 с.

22. Хэлворсон, М. Эффективная работа с Microsoft Office 2006: Пер. с англ. / М. Хэлворсон, М. Янг. – СПб.: Изд-во «Питер», 2000. – 1234 с.

Статья поступила в редакцию 10.12.10.

N. N. Besschetnova

TO THE METHODS OF CRITICAL WATER LOSS DETERMINATION OF THE NEEDLES OF PLUS TREES OF SCOTCH PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

Rates of critical water amount loss of needles of plus trees of Scotch pine is a true criterion of evaluation of its selective advantage. Regression equations are effective in determination of a period of 50 % water loss of the conifers' samples. Use of the samples to analyze the process may lead to the arsenal increase of the existing methods of research.

Key words: *Scotch pine, plus trees, clones, rates of water loss of needles.*

БЕССЧЕТНОВА Наталья Николаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. Область научных интересов – проблемы эффективности лесной селекции и совершенствования селекционного потенциала плюсовых деревьев основных лесобразующих пород. Автор 40 научных публикаций.

E-mail: lesfak@bk.ru

УДК: 630*182.2+630*187

М. В. Ермакова, Н. С. Иванова

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ МОЛОДНЯКОВ
PINUS SYLVESTRIS L. ИСКУССТВЕННОГО
И ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ
НА ВЫРУБКАХ СРЕДНЕГО УРАЛА**

*Для гетерогенных условий Зауральской холмисто-предгорной провинции (Средний Урал) в топоэкологическом профиле четырех типов сосновых лесов проведено изучение структуры естественных и искусственных молодняков *Pinus sylvestris* L. Использован метод распределения деревьев по условным ступеням диаметра, высоты и относительной высоты. Выявлено влияние экотопа и происхождения (естественное – искусственное) на интенсивность лесовозобновления, густоту дендроценозов, дифференциацию деревьев по высоте и диаметру, формирование специфичной ранговой структуры молодняков.*

Ключевые слова: *лесные экосистемы, генетическая типология, *Pinus sylvestris* L., естественные и искусственные молодняки, морфология леса, дифференциация деревьев, ранговое распределение.*

Введение. На Урале, простирающемся с севера на юг более чем на 2000 км, около 30 % лесопокрытой площади занимают горные леса, которые на региональном уровне во многом определяют величину и распределение стока вод, а на локальном – формирование местных климатических и гидрологических характеристик. Быстрые темпы развития металлургической промышленности (начиная с 17-го века) на Среднем Урале обусловили интенсивную эксплуатацию лесного покрова [1, 2] и, как следствие, привели к увеличению площадей открытых местообитаний.

На Среднем Урале естественное возобновление на вырубках и вырубках-гарях изучалось многими исследователями [3–5]. Для преобладающих лесорастительных условий получены количественные данные о численности самосева и подроста древесных видов на вырубках и вырубках-гарях, выполнен анализ восстановительной динамики на основе традиционных статистических методов, позволяющих сравнивать текущее состояние описываемых лесных экосистем и оценивать достоверность различий средних таксационных характеристик.

Однако, если начальный этап лесовосстановительного процесса – возобновление леса на вырубках и гарях – серьезно изучен, то дальнейший процесс формирования структуры молодых насаждений не исследован в достаточно полной мере. Они исключались из анализа как временные, непостоянные стадии. Основное внимание уделялось древостоям старших возрастов с установившейся морфологической структурой. В результате особенности структуры молодняков, определяющие дальнейшее формирование лесных экосистем и позволяющие обоснованно планировать лесохозяйственные мероприятия, оставались без внимания.

Проблема усугубляется недостаточной разработкой методических принципов и мето-

дов исследования морфологии молодых, очень динамичных дендроценозов, со сложными, постоянно меняющимися взаимосвязями.

Используемые при оценке взрослых насаждений методы в большинстве своем непригодны для изучения молодняков. Актуальность проблемы резко возрастает в связи с постоянным увеличением и без того огромных площадей, занятых молодыми лесами.

Цель данной работы – для прогнозирования дальнейшего лесообразовательного процесса и оптимизации лесопользования исследовать морфологическую структуру дендроценозов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) I класса возраста (естественного и искусственного происхождения), произрастающей в гетерогенных условиях Зауральской холмисто-предгорной провинции.

Объекты и методика исследований. Исследования проводились в южно-таежном округе Зауральской холмисто-предгорной провинции на территории в пределах 57°00'–57°05' с.ш. и 60°15'–60°25' в.д. Место проведения исследований – расчлененное предгорье, образованное чередованием меридиональных возвышенностей и гряд с широкими межгорными вытянутыми понижениями. Абсолютные высоты 200–500 м над уровнем моря [6]. Объекты исследований – 15-летние естественные и 12-летние искусственные молодняки сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие на сплошных вырубках.

Известно, что процесс возобновления и формирования насаждений представляет собой этап образования и развития новой биогенетической системы. На вырубках, где существенно изменены лесорастительные условия и не сохранился подрост предварительных рубке генераций (в особенности, при последующем создании лесных культур), процесс формирования нового насаждения фактически начинается с «нулевого цикла», наследуя при этом элементы и формы организации старой системы [7, 8]. Поэтому в целях выявления факторов и механизмов формирования структуры молодых дендроценозов исследования проведены в широком градиенте лесорастительных условий: от хорошо инсолированных крутых склонов с мелкими каменистыми слабоподзоленными почвами и крайне неустойчивым увлажнением (тип леса – сосняк лишайниково-брусничный) до нижних частей пологих дренированных склонов с мощными бурыми горно-лесными почвами на суглинистом элювии-делювии горных пород, обеспечивающим устойчивое увлажнение почвогрунтов с временным переувлажнением в весенний период (тип леса – сосняк разнотравный) [6]. В данном топоэкологическом профиле представлены различные режимы увлажнения: устойчиво-сухие; свежие, периодически сухие; устойчиво свежие; свежие, периодически влажные. Особенности лесорастительных условий и почвенного покрова приведены в табл. 1.

В этих лесорастительных условиях в основном представлены четыре типа сосновых лесов: лишайниково-брусничные, брусничные, ягодниковые, разнотравные [6]. На основе эколого-флористического подхода [9–11] сосняки лишайниково-брусничные, сосняки брусничные и сосняки ягодниковые принадлежат к классу *Vaccinio-Piceetea* (бореальные темнохвойные и светлохвойные леса) союзу *Dicrano-Pinion* (Libbert 1933) *Matuszkiewicz* 1962. Этот союз объединяет олиготрофные лишайниковые и ацидофильные моховые сосновые леса, формирующиеся на бедных минеральным азотом кислых почвах (каменистых или песчаных). Сосняки разнотравные имеют признаки как класса *Vaccinio-Piceetea* (высокое постоянство *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, обязательное присутствие *Picea obovata*), так и класса *Brachypodio Pinnati-Betuletea* (гемибореальных светлохвойно-мелколиственных травяных мезофитных лесов Западной, Центральной Сибири и Урала) союзу *Trollio europaea-Pinion sylvestris* *Fedorov ex Ermakov et al.* 2000 (мезофитных сосново-березовых травяных лесов на плодородных и хорошо обеспечен-

ных влагой почвах). Признаками этого класса является сомкнутый хорошо развитый разнотравный травяно-кустарничковый ярус, повышенное видовое богатство.

Т а б л и ц а 1

Объекты исследований: лесорастительные условия и типы леса

Лесорастительные условия			Тип леса по Б.П. Колесникову и др. [6]
Режим увлажнения	Местоположение в рельефе	Почвы, мощность, см	
Устойчиво сухие	Хорошо инсолированные крутые склоны	Неполноразвитые маломощные сильно каменистые буроземовидные, 5–20	Сосняк лишайниково-брусничный
Свежие, периодически сухие	Вершины и верхние половины склонов возвышенностей	Неполноразвитые маломощные каменистые буроземовидные, 5–20	Сосняк брусничный
Устойчиво свежие	Средние части покатых и пологих склонов	Щебнистые слабоподзоленные легко-суглинистые, 30–60	Сосняк ягодниковый
Свежие, периодически влажные	Нижние части пологих склонов	Мощные полноразвитые суглинистые слабоподзоленные на суглинистом элювии-делювии горных пород, более 50	Сосняк разнотравный

Таким образом, рассматриваемое разнообразие биогеоценотических структур является необходимым и достаточным для корректного решения поставленной задачи.

Изучение естественных и искусственных молодняков проводилось на основе общепринятых методов [12–14]. Заложены укрупненные пробные площади, однородные по составу молодняков. Исследования проведены в 4–5-кратной повторности. В статье приведены обобщенные данные по пробным площадям. В процессе формирования лесных насаждений существенную роль играет фактор дифференциации формирующейся популяции на ценотические структурные образования, что отражено в законе единства строения насаждений, в основе которого лежит ранговое расчленение деревьев в ценопопуляции [15]. Нами используются распределения деревьев в ценопопуляциях по условным ступеням, при которых каждая включает 0,1 рангового значения признака [16]. Ранговое положение каждого дерева оценивалось конкретным редукционным числом (ранговым коэффициентом) – R , рассчитываемым по отношению к значению среднего [8, 17] – $R_{\text{сред.}}$ и значению признаков деревьев определенного высшего ранга ($D_{0,5H 90\%}$), т.е. занимающим лидирующее положение [16] – $R_{\text{по } D 90 \%}$. Уровень изменчивости дендрометрических показателей определялся по С.А.Мамаеву [18].

Результаты исследований и их обсуждение. В обобщенном понимании строение (структура) насаждений представляется как определенный порядок сочетания особей, что характеризуется составом, взаимным расположением и соотношениями значений признаков [16]. Наиболее полно это отражается в ранговой классификации деревьев, позволяющей устранить визуальный, локальный и субъективный характер ранее используемых методов [8].

Данные о лесотипологических особенностях густоты ценопопуляций сосны обыкновенной приведены в табл. 2–3.

Естественные сосновые молодняки представлены (табл. 2) в условиях сосняков лишайниково-брусничных (С лиш.-бр.), брусничных (С бр.), ягодниковых (С яг.), а лесные культуры сосны обыкновенной (табл. 3) в сосняках брусничном, ягодниковом и разнотравном (С ртр.). Следует отметить, что представленность в С бр. и С яг. как есте-

Т а б л и ц а 2

Густота подроста сосны на пробных площадях

№ ПП	Тип леса	Густота подроста, тыс*га ⁻¹	Оценка густоты подроста (Цит. по [15])
1	С лиш.-бр.	122,5	густой
2	С бр.	71,3	густой
3	С яг.	15,1	густой

Т а б л и ц а 3

Характеристика лесных культур сосны на пробных площадях

№ ПП	Тип леса	Количество посадочных мест, тыс*га ⁻¹	Сохранилось от высаженных, %	Густота, тыс*га ⁻¹		Качество культур при переводе в покрытую лесом площадь
				саженцев в культурах	подроста сосны	
4	С бр.	4,8	55,9	2,7	0,9	2 класс
5	С яг.	6,0	57,8	3,4	1,2	1 класс
6	С ртр.	2,7	43,8	1,2	4,3	некачественные

ственных молодняков, так и культур сосны, довольно типична для района проведения исследований в целом, поскольку эти типы леса оптимальны в отношении обоих методов лесовосстановления. В условиях С лиш.-бр. вследствие мелких каменистых почв создание культур практически исключается, а для С ртр., где процесс естественного возобновления сосны обыкновенной подавлен, напротив, лесные культуры – основной метод восстановления исходных лесов. Особенность С ртр. заключается в том, что сопутствующее возобновление на вырубках идет с преобладанием лиственных древесных растений, и в перспективе наиболее вероятно смена сосны на березу [19].

В топоэкологическом профиле от С лиш.-бр. к С. яг. густота ценопопуляции молодняков сосны обыкновенной естественного происхождения сокращается почти на порядок. Лесные культуры сосны по сравнению с естественными молодняками характеризуются значительно меньшей густотой ценопопуляций сосны, что определяется, прежде всего, размещением посадочных мест на площади.

Сложившиеся в изученном топоэкологическом профиле резко различные условия для роста хвойных деревьев в молодняках естественного и искусственного происхождения нашли свое отражение в дендрометрических характеристиках деревьев (табл. 4) и особенностях распределения их по условным ступеням диаметра (табл. 5).

Из данных табл. 4 и 5 видно, что естественные молодняки сосны обыкновенной в большинстве случаев достоверно (при $P < 0,05$) уступают лесным культурам по своим дендрометрическим характеристикам. В силу значительно большей густоты естественные молодняки сосны характеризуются более высокими показателями относительной высоты ($H/D_{0,5H}$), что свидетельствует об усиленном росте деревьев в высоту и замедленном по диаметру. Это обусловлено конкуренцией особенно в типах леса С лиш.-бр. и С бр. Указанные особенности формирования насаждений нашли свое отражение в показателях распределения (табл. 5).

Распределение по $D_{0,5H}$ в наиболее загущенных естественных молодняках в С лиш.-бр. и С бр. (табл. 5) отличается резко выраженной правосторонней асимметрией и высоким положительным значением эксцесса (т.е. более острым пиком, чем нормальное распределение) и очень высокой степенью изменчивости, что также подтверждается и значительными величинами $APЧ_{\text{сред.}}$ (2,047–2,584) и $APЧ_{D_{90\%}}$ (1,407–1,550). В этих насаждениях основную часть составляют тонкие деревья (1–5-ранговых ступеней толщины, $R_{\text{сред.}} = 0,46–1,26$ и $R_{D_{90\%}} = 0,28–0,88$) (табл. 5, 6).

Т а б л и ц а 4

Дендрометрические характеристики сосны естественного возобновления и лесных культур

Дендрометри- ческие характе- ристики	Статис- тики	Естественное возобновление			Лесные культуры		
		№ ПП и тип леса					
		1 С лиш.-бр.	2 С бр.	3 С яг.	4 С бр.	5 С яг.	6 С ртр.
Диаметр на се- редине высоты (D _{0.5H}), см	M	1,2	2,1	2,1	4,4	4,2	3,3
	m	0,11	0,12	0,13	0,09	0,11	0,08
	M _{д90%}	2,0	3,0	3,2	5,3	5,3	4,1
	σ	0,75	0,88	1,09	0,88	1,08	0,80
	V, %	64,31	41,50	53,03	19,96	25,98	24,26
	As	1,560	1,066	0,419	0,126	0,075	0,127
	m _{as}	0,3398	0,3163	0,2908	0,2414	0,2379	0,2379
	Ex	2,010	1,002	-0,716	-0,460	-0,845	-0,438
m _{ex}	0,6681	0,6231	0,5740	0,4783	0,4716	0,4716	
Высота (H), см	M	253,6	316,2	226,8	403,9	393,9	329,3
	m	10,63	9,54	12,12	5,28	6,98	5,70
	M _{д90%}	334,8	378,2	320,5	444,3	458,1	372,5
	σ	74,38	7,03	100,03	52,77	70,80	57,82
	V, %	29,33	22,78	44,10	13,07	17,98	17,56
	As	-0,168	-0,121	0,258	-0,071	-0,291	-0,119
	m _{as}	0,3398	0,3163	0,2908	0,2414	0,2379	0,2379
	Ex	-0,698	-0,223	-1,059	-0,222	-0,430	-0,759
m _{ex}	0,6681	0,6231	0,5740	0,4783	0,4716	0,4716	
Относительная высота H/ D _{0.5H}	M	256,0	161,1	119,5	93,9	97,2	102,4
	m	11,32	5,09	3,64	1,20	1,34	1,19
	M _{д90%}	171,9	126,2	100,6	84,2	85,9	91,0
	σ	79,21	38,43	30,01	12,03	13,63	12,10
	V, %	30,94	23,78	25,11	12,81	14,03	11,82
	As	0,408	0,480	1,165	1,076	0,451	0,641
	m _{as}	0,3398	0,3163	0,2908	0,2414	0,2379	0,2379
	Ex	1,098	-0,101	1,471	2,861	0,087	0,124
m _{ex}	0,6681	0,6231	0,5740	0,4783	0,4716	0,4616	

Примечание: M – среднее; m – ошибка среднего; $M_{д 90\%}$ – среднее для занимающих лидирующее положение; σ – дисперсия; V – коэффициент вариации; As – асимметрия; m_{as} – ошибка асимметрии; Ex – эксцесс; m_{ex} – ошибка эксцесса.

В С яг. распределение по $D_{0,5H}$ по показателям асимметрии и эксцесса характеризуется как нормальное. В этом типе леса уже более трети деревьев относятся к более высоким (с 6 по 10) ранговым ступеням толщины с $R_{\text{сред.}} = 1,39\text{--}2,38$ и $R_{\text{по д 90 \%}} = 0,91\text{--}1,56$ (табл. 5, 6).

В лесных культурах во всех представленных типах леса распределение по $D_{0,5H}$ по значениям асимметрии и эксцесса в большинстве случаев также характеризуется как нормальное. Уровень изменчивости колеблется от среднего до повышенного. При этом значения $APЧ_{\text{сред.}}$ (0,916–1,164) и $APЧ_{\text{д 90\%}}$ (0,761–0,937) заметно меньше, чем у естественного возобновления. В лесных культурах, таким образом, более тонкие (ранговые ступени с 1 по 5) деревья ($R_{\text{сред.}} = 1,39\text{--}2,38$ и $R_{\text{д 90 \%}} = 0,48\text{--}1,01$) и более толстые (ранговые ступени с 6 по 10) ($R_{\text{сред.}} = 1,05\text{--}1,58$ и $R_{\text{д 90 \%}} = 0,83\text{--}1,15$) составляют примерно половину (табл. 5, 6).

Т а б л и ц а 5

Распределение общего количества деревьев сосны по условным ступеням

Показатель	Условные ступени диаметра										АРЧ сред.	АРЧ Д 90%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Молодняки сосны естественного происхождения												
С лиш.- бр. (ПП 1)												
Д _{0,5Н}	34,7	26,5	14,3	6,1	0,0	6,1	6,1	2,0	0,0	4,1	2,584	1,550
Н	4,1	6,1	8,2	12,2	8,2	16,3	16,3	12,2	10,2	6,1	1,171	0,887
Н/ Д _{0,5Н}	8,2	12,2	16,3	20,4	20,4	14,3	4,1	2,0	0,0	2,0	1,573	2,343
С бр. (ПП 2)												
Д _{0,5Н}	7,0	22,8	24,6	15,8	14,0	1,8	8,8	3,5	0,0	1,8	2,047	1,434
Н	1,8	3,5	10,5	17,5	10,5	19,3	21,1	8,8	5,3	1,8	1,148	0,960
Н/ Д _{0,5Н}	12,3	5,3	21,1	19,3	15,8	10,5	3,5	3,5	7,0	1,8	1,000	1,280
С яг.(ПП 3)												
Д _{0,5Н}	16,2	20,6	10,3	10,3	8,8	16,2	11,8	1,5	2,9	1,5	2,143	1,407
Н	13,2	14,7	13,2	11,8	5,9	10,3	8,8	16,2	1,5	4,4	1,627	1,151
Н/ Д _{0,5Н}	1,5	14,7	23,5	29,4	10,3	8,8	2,9	4,4	1,5	2,9	1,281	1,521
Лесные культуры												
С бр. (ПП4)												
Д _{0,5Н}	7,0	8,0	13,0	19,0	14,0	11,0	18,0	5,0	4,0	1,0	0,916	0,761
Н	1,0	1,0	10,0	13,0	8,0	24,0	20,0	14,0	5,0	4,0	0,641	0,583
Н/ Д _{0,5Н}	8,0	8,0	27,0	35,0	11,0	6,0	2,0	1,0	1,0	1,0	0,782	0,872
С яг..(ПП 5)												
Д _{0,5Н}	2,9	3,9	17,5	13,6	9,7	17,5	8,7	14,6	3,8	7,8	1,067	0,845
Н	1,9	3,9	7,8	14,6	15,5	16,5	12,6	20,4	5,8	1,0	0,866	0,744
Н/ Д _{0,5Н}	2,9	11,7	16,5	22,3	16,5	13,6	10,7	3,9	1,0	1,0	0,747	0,845
С ртр.(ПП 6)												
Д _{0,5Н}	2,9	7,8	17,5	14,6	16,5	14,6	12,6	7,8	3,9	1,9	1,164	0,937
Н	4,9	9,7	8,7	7,8	11,7	19,4	13,6	10,7	5,8	7,8	0,711	0,928
Н/ Д _{0,5Н}	1,9	10,7	17,5	21,4	18,4	10,7	9,7	1,9	2,9	4,9	0,562	0,633

Примечание: АРЧ сред. – амплитуда редукционных чисел (сравнение со значением среднего); АРЧ_{Д 90%} – амплитуда редукционных чисел (сравнение со значениями, занимающими лидирующее положение).

Распределение деревьев по высоте в естественных молодняках в С лиш.-бр. и С бр. согласно величине асимметрии и эксцесса близко к нормальному, т.е. количество деревьев, отстающих в росте (ранговые ступени высоты от 1 до 5, $R_{\text{сред.}} = 0,28-0,93$ и $R_{\text{по Д 90 \%}} = 0,31-0,78$) и более крупных (ступени высоты от 6 до 10, $R_{\text{сред.}} = 0,99-1,51$ и $R_{\text{по Д 90 \%}} = 0,75-1,30$), примерно одинаково. Вариабельность деревьев по высоте в этих типах леса повышенная, что отразилось в величинах АРЧ_{сред.} (1,148–1,171) и АРЧ_{Д 90%} (0,887–0,960) (табл. 5, 6).

В С яг. высотное распределение деревьев по величине асимметрии близко к нормальному, однако отличается заметным отрицательным эксцессом. Это, в частности, подтверждается очень высоким уровнем изменчивости (высот) и величинами АРЧ_{сред.} (1,627) и АРЧ_{Д 90%} (1,151). Однако и в этом случае количество деревьев, отстающих в росте (ранговые ступени высоты от 1 до 5, $R_{\text{сред.}} = 0,39-1,06$ и $R_{\text{по Д 90 \%}} = 0,28-0,75$) и более крупных (ступени высоты от 6 до 10, $R_{\text{сред.}} = 1,19-1,89$ и $R_{\text{по Д 90 \%}} = 0,85-1,34$), примерно одинаково (см. табл. 5, 6).

Т а б л и ц а 6

Средние ранговые коэффициенты по условным ступеням

Показатель	Ранг	Условные ступени									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Естественное возобновление											
С лиш.-бр. (ПП 1)											
$D_{0,5H}$	по сред.	0,47	0,78	0,99	1,22	-	1,75	1,97	2,25	-	2,88
	по Д 90 %	0,28	0,47	0,59	0,73	-	1,05	1,18	1,35	-	1,73
Н	по сред.	0,41	0,54	0,66	0,76	0,91	0,99	1,11	1,26	1,36	1,51
	по Д 90 %	0,31	0,41	0,50	0,58	0,69	0,75	0,84	0,96	1,03	1,14
Н/ $D_{0,5H}$	по сред.	0,47	0,64	0,84	0,99	1,14	1,29	1,37	1,57	-	2,00
	по Д 90 %	0,70	0,95	1,24	1,47	1,70	1,92	2,05	2,34	-	2,98
С бр. (ПП 2)											
$D_{0,5H}$	по сред.	0,46	0,65	0,83	1,06	1,26	1,43	1,70	1,83	-	2,38
	по Д 90 %	0,33	0,45	0,58	0,74	0,88	1,00	1,19	1,28	-	1,67
Н	по сред.	0,41	0,61	0,72	0,81	0,93	1,04	1,16	1,26	1,35	1,56
	по Д 90 %	0,34	0,51	0,60	0,68	0,78	0,87	0,97	1,05	1,13	1,30
Н/ $D_{0,5H}$	по сред.	0,64	0,74	0,86	0,96	1,07	1,17	1,27	1,34	1,46	1,61
	по Д 90 %	0,82	0,95	1,11	1,23	1,38	1,50	1,63	1,71	1,87	2,06
С яг. (ПП 3)											
$D_{0,5H}$	по сред.	0,34	0,53	0,72	0,97	1,24	1,39	1,60	1,81	2,00	2,38
	по Д 90 %	0,22	0,35	0,47	0,63	0,81	0,91	1,05	1,19	1,31	1,56
Н	по сред.	0,39	0,57	0,74	0,88	1,06	1,19	1,38	1,53	1,69	1,89
	по Д 90 %	0,28	0,41	0,52	0,62	0,75	0,85	0,98	1,08	1,20	1,34
Н/ $D_{0,5H}$	по сред.	0,53	0,73	0,85	0,97	1,09	1,23	1,41	1,46	1,55	1,77
	по Д 90 %	0,63	0,87	1,01	1,15	1,29	1,46	1,68	1,73	1,84	2,10
Лесные культуры											
С бр. (ПП 4)											
$D_{0,5H}$	по сред.	0,64	0,75	0,82	0,93	1,00	1,09	1,18	1,28	1,38	1,51
	по Д 90 %	0,53	0,62	0,68	0,77	0,83	0,91	0,98	1,07	1,14	1,26
Н	по сред.	0,66	0,76	0,79	0,87	0,92	1,00	1,06	1,12	1,19	1,29
	по Д 90 %	0,60	0,69	0,72	0,79	0,84	0,90	0,97	1,02	1,08	1,17
Н/ $D_{0,5H}$	по сред.	0,79	0,86	0,94	1,02	1,09	1,18	1,28	1,33	1,38	1,53
	по Д 90 %	0,89	0,96	1,05	1,14	1,21	1,31	1,42	1,49	1,54	1,70
С яг. (ПП 5)											
$D_{0,5H}$	по сред.	0,48	0,59	0,72	0,81	0,93	1,05	1,14	1,24	1,35	1,46
	по Д 90 %	0,38	0,47	0,57	0,64	0,74	0,83	0,90	0,99	1,07	1,15
Н	по сред.	0,55	0,67	0,75	0,84	0,94	1,01	1,10	1,19	1,28	1,40
	по Д 90 %	0,47	0,58	0,65	0,73	0,81	0,87	0,95	1,02	1,10	1,20
Н/ $D_{0,5H}$	по сред.	0,74	0,82	0,89	0,96	1,03	1,11	1,17	1,26	1,34	1,44
	по Д 90 %	0,84	0,92	1,00	1,08	1,17	1,26	1,33	1,42	1,52	1,63
Сгрр. (ПП 6)											
$D_{0,5H}$	по сред.	0,53	0,63	0,77	0,88	1,01	1,11	1,21	1,31	1,43	1,58
	по Д 90 %	0,43	0,50	0,62	0,71	0,81	0,89	0,97	1,05	1,15	1,27
Н	по сред.	0,68	0,74	0,81	0,88	0,95	1,03	1,09	1,16	1,23	1,30
	по Д 90 %	0,60	0,65	0,72	0,78	0,84	0,91	0,96	1,03	1,09	1,15
Н/ $D_{0,5H}$	по сред.	0,78	0,85	0,90	0,96	1,02	1,07	1,13	1,19	1,22	1,29
	по Д 90 %	0,88	0,95	1,02	1,08	1,14	1,20	1,27	1,33	1,37	1,45

В лесных культурах во всех изученных типах леса высотное распределение деревьев по значениям асимметрии и эксцесса в большинстве случаев близко к нормальному. Изменчивость по высоте среднего уровня, что свидетельствует об определенной стабилизации дифференциации деревьев по этому показателю. Значения $APЧ_{\text{сред.}}$ (0,641–0,866) и $APЧ_{\text{Д } 90\%}$ (0,583–0,928) заметно меньше, чем у естественных молодняков. В лесных культурах, таким образом, более тонкие деревья (ранговые ступени с 1 по 5, $R_{\text{сред.}} = 0,55–0,95$ и $R_{\text{по Д } 90\%} = 0,47–0,84$) и более толстые (ранговые ступени с 6 по 10, $R_{\text{сред.}} = 1,00–1,40$ и $R_{\text{по Д } 90\%} = 0,87–1,20$), как и в естественных молодняках, составляют примерно половину, однако с некоторым превышением числа более крупных особей.

Рассматривая характеристики распределения по величине относительной высоты ($H/D_{0,5H}$), прежде всего необходимо отметить следующую особенность: большие значения этого показателя свидетельствуют о напряженном состоянии деревьев, т.е. о несоответствии (по сравнению с диаметром) ускоренному росту в высоту из-за повышенной конкуренции. Таким образом, к деревьям с высокими значениями $H/D_{0,5H}$ (ранговые ступени с 6 по 10) относятся, как правило, угнетенные, впоследствии выпадающие особи (см. табл. 5).

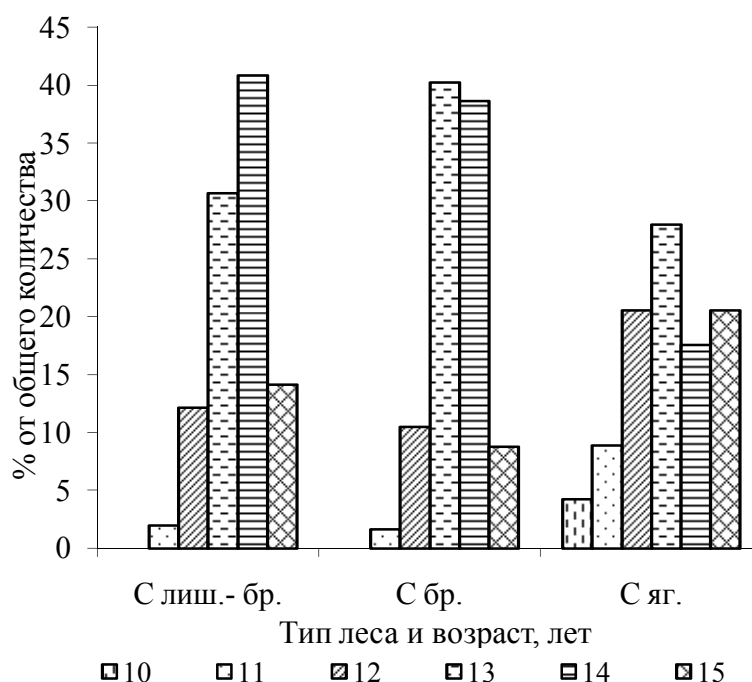
Распределение по относительной высоте ($H/D_{0,5H}$) у естественных молодняков в С лиш.-бр. по показателям асимметрии близко к нормальному, но отличается довольно высоким положительным эксцессом (более острый пик, чем при нормальном распределении). В С бр. значения асимметрии и эксцесса близки к нормальному распределению. Тем не менее, в С лиш.-бр. и С бр. количество деревьев, имеющих меньшие значения $H/D_{0,5H}$ (ранговые ступени высоты от 1 до 5, $R_{\text{сред.}} = 0,47–1,14$ и $R_{\text{Д } 90\%} = 0,70–1,70$) и большие (ступени высоты от 6 до 10, $R_{\text{сред.}} = 1,17–2,00$ и $R_{\text{Д } 90\%} = 1,50–2,98$), примерно одинаково. Вариабельность деревьев по высоте в этих типах леса имеет уровень изменчивости от повышенного до высокого, что отразилось в величинах $APЧ_{\text{сред.}}$ (1,000–1,573) и $APЧ_{\text{Д } 90\%}$ (0,887–0,960).

В С яг. распределение деревьев по $H/D_{0,5H}$ отличается существенными правой асимметричностью и отрицательным эксцессом при повышенном уровне изменчивости и величинами $APЧ_{\text{сред.}}$ (1,281) и $APЧ_{\text{Д } 90\%}$ (1,521). Количество деревьев, имеющих меньшие значения $H/D_{0,5H}$ (ранговые ступени высоты от 1 до 5, $R_{\text{сред.}} = 0,53–1,09$ и $R_{\text{Д } 90\%} = 0,63–1,29$), значительно превышает число имеющих большие значения $H/D_{0,5H}$ (ступени высоты от 6 до 10, $R_{\text{сред.}} = 1,23–1,77$ и $R_{\text{по Д } 90\%} = 1,46–2,10$).

В лесных культурах С бр. распределение деревьев по $H/D_{0,5H}$ согласно значениям асимметрии и эксцесса отличалось заметной правой скошенностью и выраженным острым пиком, хотя значения $APЧ_{\text{сред.}}$ (0,782) и $APЧ_{\text{Д } 90\%}$ (0,872) и здесь заметно меньше, чем у естественных молодняков в этом же типе леса. Вызвано это тем, что подавляющая часть деревьев – 89 % относится к ранговым ступеням от 1 до 5 ($R_{\text{сред.}} = 0,79–0,89$ и $R_{\text{по Д } 90\%} = 1,09–1,21$). Хотя остальные (ранговые ступени с 6 по 10) представляют только 11 % от общего количества, они имеют весьма значительные величины $H/D_{0,5H}$ ($R_{\text{сред.}} = 1,18–1,31$ и $R_{\text{по Д } 90\%} = 1,53–1,70$). Подобные экземпляры, находящиеся в крайне напряженной конкурентной ситуации (высокая густота древостоя), по всей видимости, выпадут в ближайшие годы.

В культурах С яг. и С ртр. распределение для $H/D_{0,5H}$ по показателям асимметрии и эксцесса близко к нормальному, однако количество менее угнетенных деревьев (ранговые ступени с 1 по 5, $R_{\text{сред.}} = 0,71–1,03$ и $R_{\text{по Д } 90\%} = 0,84–1,17$) несколько превышает число деревьев более угнетенных ранговых ступеней (с 6 по 10, $R_{\text{сред.}} = 1,07–1,44$ и $R_{\text{по Д } 90\%} = 1,20–1,63$).

Уровень изменчивости $H/D_{0,5H}$ в лесных культурах С бр. и С яг. среднего уровня, а



Распределение деревьев естественного возобновления по возрасту

в С ртр. – низкого. Это свидетельствует о выраженной стабилизации дифференциации деревьев в искусственных и естественных молодняках по этому показателю. Об этом также свидетельствует и сравнительно небольшой размах величин редуционных чисел $APЧ_{\text{сред.}} = 0,641-0,866$ и $APЧ_{\text{д } 90\%} = 0,583-0,928$.

Различия в распределении деревьев и их дендрометрические характеристики по условиям ступеням в естественных молодняках во многом связаны с особенностями их формирования в условиях разных типов леса (см. рисунок). В С лиш-бр. и С бр. развитие травяного покрова в первые годы довольно незначительно, а возобновление лиственных древесных видов не играет серьезной роли в общей численности [19]. Основным фактором, определяющим рост и дифференциацию деревьев, является густота соснового подроста и, соответственно, внутривидовая конкуренция. В условиях С лиш-бр. и С бр. процесс естественного возобновления наиболее активен на второй–третий год после пожара и сплошной рубки. Деревья именно этих возрастов (а также уступающие по численности особи, появившиеся в первый год на гари-вырубке) составляют основную и наиболее крупную часть подроста. Некоторую роль в этих типах леса играют и особи, появившиеся на гари-вырубке на 4–5-й годы, но они относятся преимущественно к угнетенным.

В С яг. на вырубках развивается сомкнутый травянистый ярус [19], который оказывает влияние на формирование дендроценоза. В этих условиях процесс естественного возобновления более протяженный во времени. Подрост представлен практически пропорционально экземплярами, появившимися на 1–4-й годы после сплошной рубки. Численность более молодого подроста незначительна. Они же являются наиболее угнетенными.

Заключение. Полученные нами данные впервые позволили установить, что естественные и искусственные молодняки в топоэкологическом профиле четырех типов леса (от сосняка лишайниково-брусничного до сосняка разнотравного) отличаются характерными особенностями ранговой структуры дендрометрических показателей.

Имеющие приблизительно одинаковый биологический возраст дендроценозы (как естественного, так и искусственного происхождения) наиболее четко дифференцированы по высоте и по относительной высоте и значительно меньше – по диаметру на середине высоты ствола.

Сосновые молодняки I класса возраста искусственного происхождения имеют более стабилизированную структуру, более высокие дендрометрические характеристики и их меньшую вариабельность по сравнению с естественными молодняками, но значительно уступают им в густоте дендроценозов.

Создание лесных культур в типах леса С бр. и С яг. малооправдано, поскольку в этих условиях возможно весьма успешное естественное возобновление. По сравнению с искусственными дендроценозами, естественные молодняки в этих типах леса отличаются значительно большей густотой, что в сочетании с особенностями их ранговой структуры позволяет прогнозировать в дальнейшем формирование высокобонитетных и высокополнотных насаждений.

Естественные молодняки сосны в типе леса С лиш.-бр., по всей видимости, в ближайшие годы все же не следует изреживать, поскольку именно очень высокая густота насаждений обеспечивает сохранность дендроценозов в условиях хорошо инсолированных крутых склонов с мелкими каменистыми слабооподзоленными почвами и крайне неустойчивым увлажнением.

Состояние искусственного дендроценоза в типе леса С ртр. не позволяет сделать благоприятный прогноз в отношении дальнейшего формирования соснового насаждения. В этих условиях можно прогнозировать появление хвойно-лиственного, а при активном развитии порослевой березы, и лиственного насаждения с примесью сосны. В этих условиях необходимо внесение корректив в агротехнику создания лесных культур сосны обыкновенной и дальнейших лесоводственных мероприятий.

Таким образом, проведенные исследования, с одной стороны, подтвердили известные ранее положения, касающиеся успешности естественного лесовозобновления и целесообразности создания лесных культур в изученных типах леса, с другой – выявили перспективность использования особенностей ранговой структуры молодняков в сочетании с их составом, густотой и возрастной структурой для прогнозирования дальнейшего лесообразовательного процесса и обоснованного планирования лесохозяйственных мероприятий, в том числе рубок ухода, в целях оптимизации лесопользования.

Список литературы

1. *Теринов, Н.И.* Леса Артинского лесничества (Средний Урал) и их динамика в связи с историей лесного хозяйства / Н.И. Теринов: автореф. дис... канд. с.-х. наук. – Свердловск, 1968. – 24 с.
2. *Залесов, С.В.* Повышение продуктивности сосновых лесов Урала / С.В. Залесов, Н.А. Луганский. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. – 330 с.
3. *Луганский, Н.А.* Научное обоснование способов возобновления и формирования молодняков на вырубках сосновых лесов Урала / Н.А. Луганский: автореф. дис... д-ра с.-х. наук. – Алма-Ата, 1974. – 56 с.
4. *Исаева, Р.П.* Лесовосстановление на Урале / Р.П. Исаева, Н.А. Луганский // Лесное хозяйство. – 1981. – № 10. – С. 38–40.
5. *Санников, С.Н.* Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной / С.Н. Санников. – М.: Наука, 1992. – 264 с.
6. *Колесников, Б.П.* Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области / Б.П. Колесников, Р.С. Зубарева, Е.П. Смолоногов. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1974. – 176 с.
7. *Сукачев, В.Н.* Избранные труды. Т. 1. Основы лесной типологии / В.Н. Сукачев. – Л.: Наука, 1972. – 418 с.
8. *Маслаков, Е.Л.* Формирование сосновых молодняков / Е.Л. Маслаков. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 165 с.

9. Braun-Blanquet, J. Pflanzensociologie. Grundzuge der Vegetationskunde. 3 Aufl / J. Braun-Blanquet. – Wien–New York: Springer-Verlag, 1964. – 865 с.
10. Westhoff, V. The Braun-Blanquet approach / V. Westhoff, E. van der. Maarel // Classification of plant communities / Ed. R.H. Whittaker. The Hague, 1978. – P. 287–399.
11. Миркин, Б.М. Современная наука о растительности: Учебник / Б.П. Миркин, Л.Г. Наумова, А.И. Соломещ. – М.: Логос, 2000. – 264 с.
12. Моисеев, В.С. Методические указания к таксации молодняков и полога насаждений / В.С. Моисеев, Г.Г. Самойлович. – Л.: ЛТА, 1968. – 102 с.
13. Моисеев, В.С. Таксация молодняков: Учебное пособие / В.С. Моисеев. – Л.: ЛТА, 1971. – 344 с.
14. Огиевский, В.В. Обследование и исследование лесных культур / В.В. Огиевский, А.А. Хиров. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 49 с.
15. Анучин, Н.П. Лесная таксация / Н.П. Анучин; 5-е изд. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 552 с.
16. Соловьев, В.М. Морфология насаждений / В.М. Соловьев. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотех. академия, 2001. – 155 с.
17. Высоцкий, К.К. Закономерности строения смешанных древостоев / К.К. Высоцкий. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 178 с.
18. Мамаев, С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений / С.А. Мамаев. – М.: Наука, 1973. – 284 с.
19. Иванова, Н.С. Модель формирования структуры древесного яруса на вырубках. Часть 1. Управляющие параметры / Н.С. Иванова, Г.П. Быстрой // Аграрный вестник Урала. – 2010. – №5. – С. 85–89.

Статья поступила в редакцию 04.04.11.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН «Биологическое разнообразие» (проект 09-П-4-1039).

M. V. Ermakova, N. S. Ivanova

STRUCTURES PECULIARITIES OF *PINUS SYLVESTRIS* L. YOUNG GROWTH OF ARTIFICIAL AND NATURAL ORIGIN AT THE FELLINGS OF THE MIDDLE URALS

A study of the structure of natural and artificial young growth Pinus sylvestris L. was carried out for heterogeneous conditions of the Zauralsky hilly piedmont province (the Middle Urals) in the topoecological profile of four types of pine forests. The method of trees distribution in accordance with the conditional steps of diameter, height and relative height was used. Influence of ecotope and origin (natural - artificial) on forest regeneration intensity, undergrowth density, trees differentiation in height and diameters, specific rank structures formation of young growths were revealed.

Key words: forest ecosystems, genetic typology, *Pinus sylvestris* L., natural and artificial young growths, trees differentiation, rank distribution.

ЕРМАКОВА Мария Викторовна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Ботанического сада УрО РАН. Область научных интересов – морфология насаждений, возобновление леса, лесная экология. Автор 82 публикаций.

E-mail: M58_07E@mail.ru

ИВАНОВА Наталья Сергеевна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Ботанического сада УрО РАН. Область научных интересов – лесная экология, генетическая типология, динамика лесной растительности. Автор 77 публикаций.

E-mail: i.n.s@bk.ru

УДК 630*182:574.47 (470.343)

Ю. П. Демаков, А. Е. Смыков, Н. Н. Гаврицкова**СТРУКТУРА, ПРОДУКТИВНОСТЬ И ДИНАМИКА
ОСИННИКОВ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ**

*Приведены данные, характеризующие распределение популяции осины *Populus tremula* L. по территории Республики Марий Эл, типам лесорастительных условий, доле участия в составе древостоев, возрасту, классам бонитета и полноте. Показана степень распространения в осинниках стволовых гнилей, установлены закономерности возрастного изменения производительности древостоев с преобладанием осины и тенденции их динамики за период с 1953 по 2008 годы.*

Ключевые слова: осина, ценопопуляции, структура, продуктивность, динамика.

Введение. Осина, или тополь дрожащий (*Populus tremula* L.), является наиболее распространенным видом рода *Populus*, присутствуя в составе насаждений на территории Евразии почти повсеместно от лесотундры до степей и гор, поднимаясь иногда до высоты 2400 м [1, 2]. Наибольшего распространения и производительности осинники достигают в полосе 53–60° с.ш. на хорошо увлажненных и дренированных почвах [3, 4]. Леса с господством осины, возникающие на месте коренных хвойно-широколиственных лесов, всегда являются производными и обычно имеют порослевое происхождение. В ряде случаев осина может сменять и сосняки [5]. В связи с тем, что осина является породой-пионером и степень её распространения по территории зависит от масштабов и частоты воздействия возмущающих факторов, она может служить хорошим индикатором частоты и масштабов нарушения лесов.

У лесоводов к осине издавна неоднозначное отношение [6–9]. Это связано с тем, что она, с одной стороны, очень быстрорастущая порода, хорошо восстанавливающаяся на вырубках и гарях. Её древесина используется для производства бумаги и кормовых дрожжей, а также в сельском домостроении. Осина является также прекрасной кормовой базой для промысловых видов животных: бобра, лося, косули, зайца. Однако, с другой стороны, она почти повсеместно в возрасте 30–40 лет повреждается стволовыми гнилями, практически полностью обесценивающими древесину [10–13].

Цель исследования – выявить закономерности распределения популяции осины по территории Республики Марий Эл, типам лесорастительных условий, доле участия в составе древостоев, классам бонитета, полноте и возрасту; установить закономерности возрастного изменения производительности осинников и тенденции в динамике их площади и запаса за последние полвека.

Материал и методика. Материалом для анализа служили данные натурных учетов, проведенных на 36 пробных площадях, а также электронная похозяйственная база Lesfond, содержащая детальную информацию о насаждениях 81 лесничества Республики Марий Эл. Состояние популяции осины и характер ее распространения в разрезе лесничеств и типов лесорастительных условий (ТЛУ) оценивали по средним значениям

возраста, класса бонитета и полноты древостоев, а также коэффициентам расселения K_p и плотности популяции $K_{пл}$, которые были вычислены по формулам:

$$K_p = 100 \cdot S_i / S_{общ} ; \quad (1)$$

$$K_{пл} = 10 \cdot \Sigma(S_i \cdot p_i) / S_{общ} , \quad (2)$$

где $S_{общ}$ – общая площадь насаждений лесничества или ТЛП, га; S_i – площадь насаждений с присутствием осины, га; p_i – доля участия осины в составе древостоя.

Исходным материалом для анализа многолетней динамики осинников служили данные Государственного учета лесного фонда за период с 1953 по 2008 гг., состояние которых отражали такие показатели, как площадь насаждений, общий и удельный (приходящийся на 1 га площади) запас стволовой древесины в целом и по группам возраста.

Для обработки исходных данных, которая проведена на ПК, использованы общепринятые методы математической статистики и пакет стандартных программ.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ полученных данных показал, что осина довольно широко распространена в лесном фонде Марий Эл (табл. 1), однако осинники распределены по территории республики крайне неравномерно (рис. 1).

Т а б л и ц а 1

Закономерности распределения популяции осины в разрезе 81 лесничества Республики Марий Эл

Параметр	Значения статистических показателей				
	M_x	min	max	S_x	$V, \%$
Коэффициент расселения, т.е. доля насаждений с присутствием осины (X_1), %	45,9	12,3	85,1	16,0	36,4
Доля насаждений с преобладанием осины (X_2), %	5,3	0,0	22,9	4,9	90,6
Отношение $100 \cdot (X_2 / X_1)$	11,3	0,0	35,3	8,1	71,2

Примечание: здесь и далее M_x – среднее арифметическое значение показателя, min, max – минимальное и максимальное значения показателя, S_x – среднее квадратическое (стандартное) отклонение, V – коэффициент вариации.

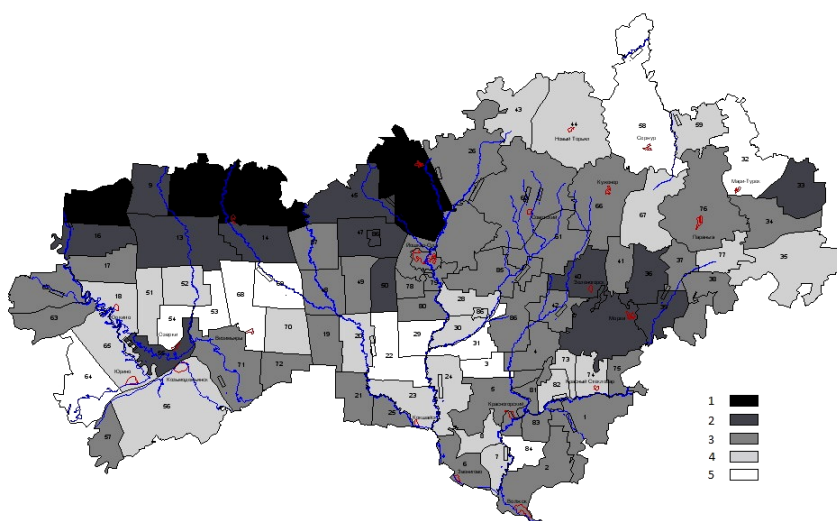


Рис. 1. Пространственное распределение в лесном фонде Марий Эл доли древостоев с участием осины (1 – доля насаждений с участием осины свыше 70 %; 2 – 55-70 %; 3 – 40-55 %; 4 – 25-40 %; 5 – менее 25 %)

Наиболее широко распространены осинники в Килемарском, Пеленгерском, Оршанском, Сендинском и Люльпанском лесничествах, что свидетельствует о значительной трансформированности состава их биогеоценозов. Древостои с преобладанием осины отсутствуют только в Силикатном лесничестве, однако и здесь эта порода встречается в виде небольшой примеси в 22,2 % насаждений.

Характер распределения популяции осины в лесном фонде Марий Эл определяют, в первую очередь, эдафические факторы. Анализ материала показал, что данная порода встречается в составе насаждений всех имеющихся в Марий Эл ТЛУ, но наиболее распространена она в свежих сураменях (табл. 2). В пределах каждого ТЛУ доля насаждений как с участием осины, так и с её преобладанием также не является стабильной, а изменяется в очень больших пределах (табл. 3), что связано с уровнем лесистости территории, возрастной структурой лесов, особенностями ведения хозяйства и наличием трудовых ресурсов на территории деятельности лесничеств. Так, расчеты показали, что доля осинников в целом возрастает с увеличением уровня лесистости территории и доли благоприятных для ее произрастания ТЛУ (B_2 , B_3 , C_2 , C_3 и D_2). Увеличение же плотности сельского населения приводит к обратному эффекту, что вполне объяснимо: чем больше трудовых ресурсов и ниже уровень лесистости, тем больше возможностей для проведения рубок ухода в молодняках, направленных на регулирование состава насаждений. Данную зависимость отображает мультипликативное уравнение регрессии:

$$Y = 0,0021 \cdot X^{-0,409} \cdot Z^{0,160} \cdot W^{1,932}, R^2 = 0,53, \quad (3)$$

где Y – доля насаждений с преобладанием осины, %; X – плотность сельского населения, чел./км²; Z – лесистость территории, %; W – доля площади ТЛУ, благоприятных для произрастания осины (B_2 , B_3 , C_2 , C_3 и D_2), %.

Т а б л и ц а 2

**Закономерности распределения популяции осины
по типам лесорастительных условий**

Трофотоп	Средняя доля насаждений по гигротопам, %				
	1	2	3	4	5
<i>Насаждения с участием осины</i>					
А	4,7	20,2	43,8	25,1	3,8
В	-	50,2	61,2	38,6	13,4
С	-	69,2	61,1	47,8	30,1
Д	-	62,0	-	-	-
<i>Насаждения с преобладанием осины</i>					
А	0,0	0,4	1,1	0,3	0,0
В	-	4,1	5,3	0,3	0,0
С	-	12,4	11,3	1,7	0,4
Д	-	8,7	-	-	-

Анализ материала показал, что если доля насаждений с участием осины составляет в лесном фонде менее 10 %, то древостои с её преобладанием полностью отсутствуют (рис. 2). Связь между коэффициентом расселения осины в лесном фонде, т.е. долей насаждений с её участием, и долей насаждений с её преобладанием не очень тесная. Это связано с тем, что второй из этих параметров состояния популяции осины является скорее качественным, чем количественным, поскольку преобладание породы зависит не только от доли её участия в составе древостоя, но и от числа пород: в двухпородных

Т а б л и ц а 3

Закономерности изменения величины стандартного отклонения степени распространения осинников в Республике Марий Эл по типам лесорастительных условий

Трофотоп	Стандартное отклонение доли насаждений по гигротопам, %				
	1	2	3	4	5
<i>Насаждения с участием осины</i>					
А	8,1	16,5	20,5	23,7	7,1
В	-	20,9	24,3	25,0	21,0
С	-	18,8	25,9	28,4	21,9
Д	-	34,9	-	-	-
<i>Насаждения с преобладанием осины</i>					
А	0,1	1,0	2,4	2,6	-
В	-	5,0	5,7	1,0	-
С	-	9,0	13,3	5,2	4,1
Д	-	24,2	-	-	-

древостоях порода будет считаться преобладающей при доле участия 60 % и более, а в многопородных – уже при 30 %. В практике лесоустройства преобладающая порода выделяется также в зависимости от целей лесовыращивания и возраста древостоя. Более объективным параметром, отображающим степень распространения вида растения в пределах той или иной территории, является коэффициент плотности его популяции $K_{пл}$, величина которого зависит от закономерностей распределения площади насаждений с различным долевым участием древесной породы [14].

Характер распределения площади насаждений по доле участия в них осины изменяется в различных лесничествах, как показал анализ исходного материала, в очень

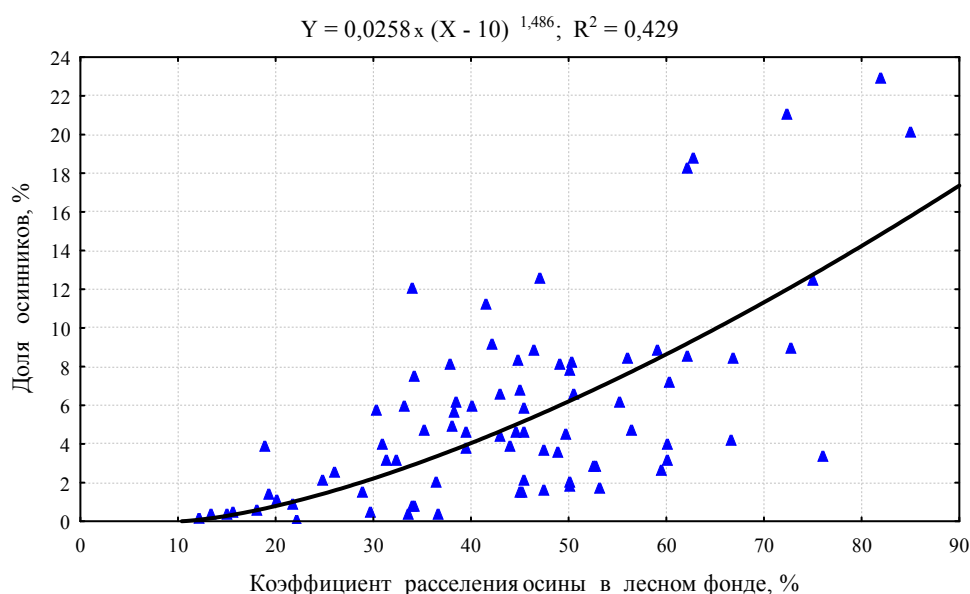


Рис. 2. Характер связи между коэффициентом расселения осины и долей древостоев с её преобладанием в разрезе лесничеств Республики Марий Эл

больших пределах (табл. 4), что частично связано с особенностями лесорастительных условий (табл. 5). Особенно велика изменчивость доли насаждений, в которых осина составляет 2 единицы. Наиболее представлены насаждения с участием осины в количестве 1–2 единиц. Доля насаждений, где осина составляет более 7 единиц, очень мала.

Т а б л и ц а 4

**Изменчивость площади древостоев в различных лесничествах Республики Марий Эл
по доле в них осины**

Показатель	Значения показателей по доле участия в древостоях осины									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M_x, \%$	16,48	22,13	12,36	5,20	2,97	2,50	1,84	1,10	0,36	0,23
$\min, \%$	1,54	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\max, \%$	31,03	51,31	51,23	16,30	10,36	8,61	6,81	6,85	3,04	1,79
$S_x, \%$	5,88	10,85	8,56	3,74	2,47	2,15	1,85	1,29	0,58	0,34

Т а б л и ц а 5

Характер распределения древостоев в различных ТЛУ по доле участия в них осины

Долевое участие осины	Доля площади древостоев в различных ТЛУ, %						
	A_2	A_3	B_2	B_3	C_2	C_3	D_2
0	80,2	43,5	50,5	25,6	26,6	25,0	58,8
1	8,7	22,7	14,4	17,7	17,3	15,7	18,1
2	6,5	18,7	17,5	27,6	24,1	28,0	8,6
3	1,6	7,7	10,5	16,7	13,3	10,9	3,8
4	0,6	4,4	3,7	5,8	6,1	6,0	2,8
5	0,6	0,5	1,5	2,7	3,7	6,5	3,0
6	0,8	1,4	0,9	1,7	3,7	3,5	1,7
7	0,8	0,6	0,6	1,3	2,7	2,4	1,2
8	0,3	0,2	0,4	0,7	1,6	1,5	1,1
9	0,0	0,0	0,1	0,2	0,6	0,4	0,3
10	0,0	0,3	0,0	0,1	0,3	0,1	0,6

В большинстве случаев степень представленности площади древостоев обратно пропорциональна доле участия в них осины, однако формы кривых распределения довольно разнообразны (рис. 3). Интегральное (кумулятивное) распределение площади древостоев во всех ТЛУ, несмотря на многообразие его форм, может быть описано с высокой точностью ($R^2 = 0,990 \dots 0,999$) одной функцией следующего вида:

$$Y_i = (100 - m) \cdot [1 - \exp(a \cdot X^b)] + m, \quad (4)$$

где Y_k – кумулятивная площадь древостоев, в составе которых доля осины изменяется от 0 до k, %; m – доля древостоев, в которых осина отсутствует ($m = 100 - K_p$), %; X – доля участия осины в составе древостоев, десятки единиц; a, b – безразмерные коэффициенты, вычисляемые эмпирически.

Расчеты показали, что параметры a и b функции (4) изменяются в очень больших пределах (табл. 6), но зависят во многом от величины коэффициента расселения популяции осины K_p , что аппроксимируют следующие уравнения регрессии:

$$a = 0,775 \cdot (1 - K_p / 100) \cdot \exp[1,132 \cdot (K_p / 100)^{2,167}]; R^2 = 0,718; \quad (5)$$

$$b = 1,196 \cdot (K_p / 100)^2 - 0,293(K_p / 100) + 0,914; R^2 = 0,605. \quad (6)$$

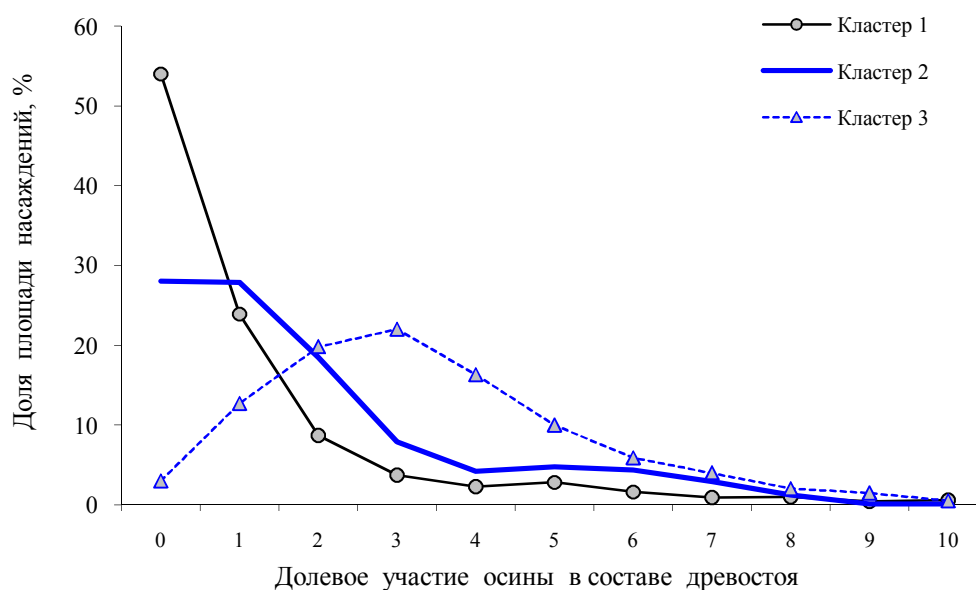


Рис. 3. Характер распределения площади древостоев различных кластеров по доле участия осины

Использование данных уравнений позволяет значительно упростить определение площадей с различной долей участия осины в составе древостоя. Для более же точного вычисления плотности её популяции ($K_{пп}$), которая даже в оптимальных условиях произрастания не превышает 40 %, лучше использовать уравнение связи с коэффициентом расселения породы (K_p)

$$K_{nn} = 0,0081 \cdot K_p^{1,278}; R^2 = 0,943. \quad (7)$$

Т а б л и ц а 6

Изменчивость параметров функции интегрального распределения площади древостоев с различной долей участия осины в разрезе 81 лесничества Республики Марий Эл

Параметр функции	Значения статистических показателей параметров функции				
	M_x	min	max	S_x	V, %
a	0,41	0,03	1,73	0,28	68,5
b	1,46	0,74	4,13	0,64	44,0
m	34,8	2,20	92,5	22,7	65,0

Одним из важнейших показателей состояния популяции древесной породы является класс бонитета, который изменяется у осинников Марий Эл в очень больших пределах (табл. 7), что свидетельствует как о разнообразии условий произрастания, так и довольно высокой экологической пластичности этой породы. Наиболее представлены в республике осинники I класса бонитета, доля площади которых в разрезе лесничеств изменяется от 0 до 90 %, а средний класс бонитета варьирует от I^a,75 до II^a,27. Наиболее производительные осинники произрастают на северо-востоке республики в пределах ополья на дерново-подзолистых суглинках, а также в устьевых участках крупных рек (рис. 4), а наименее производительные – в пределах Марийской песчаной низменности.

Т а б л и ц а 7

Распределение площади осинников по классам бонитета в лесничествах Республики Марий Эл

Параметр	Доля площади осинников по классам бонитета, %							Средний класс бонитета
	I ^б	I ^а	I	II	III	IV	V	
Среднее значение	0,03	4,58	67,31	25,96	1,99	0,12	0,01	I,26
Минимальное значение	0,00	0,00	0,00	3,20	0,00	0,00	0,00	I ^а ,75
Максимальное значение	6,98	29,69	89,96	82,13	27,27	3,54	0,17	II,27

Существенную информацию о состоянии древостоев и их реализованной производительности несет также показатель относительной полноты, который изменяется, как и класс бонитета, в очень больших пределах (табл. 8), что связано с естественными и антропогенными причинами. Доминируют в Марий Эл высокополнотные осинники, а средняя полнота изменяется в разрезе лесничеств от 0,60 до 0,89. Доля низкополнотных осинников в целом невелика, однако в ряде лесничеств она может достигать 14 %. Связь между полнотой и классом бонитета древостоев практически отсутствует ($r = 0,15$).

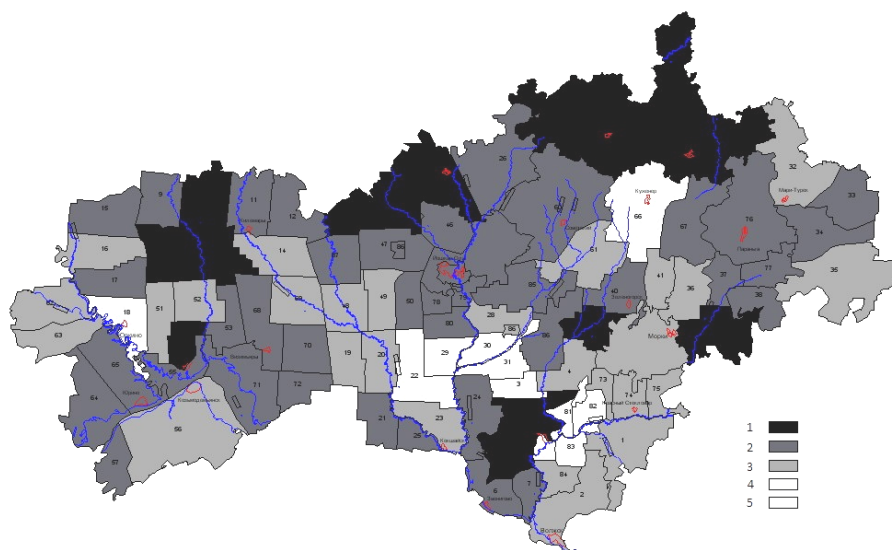


Рис. 4. Характер изменения класса бонитета осинников в пределах территории Марий Эл
(1 – класс бонитета менее 1,05; 2 – 1,05-1,35; 3 – 1,35-1,65; 4 – 1,65-1,95; 5 – более 1,95)

Т а б л и ц а 8

Распределение площади осинников по их полноте в лесничествах Республики Марий Эл

Параметр	Доля площади осинников по относительной полноте, %									Средняя полнота
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
M _x	0,01	0,24	1,04	2,78	10,03	31,94	34,11	15,94	3,89	0,76
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,46	0,00	0,00	0,00	0,60
max	0,71	3,82	14,30	24,80	44,99	95,72	69,25	63,70	23,49	0,89
S _x	0,09	0,61	2,06	4,40	8,95	17,60	15,94	15,16	6,13	0,05

Важнейшим показателем состояния древостоев является их возраст, который изменяется в очень больших пределах (табл. 9). Средний возраст осинников составил 42,5 года, а возраст отдельных древостоев – 130 лет. Возрастная структура древостоев с преобладанием осины далека от идеала (рис. 5) и не может обеспечить стабильность лесопользования. Наиболее представлены в лесном фонде Марий Эл осинники IV класса возраста. В разрезе же возрастных групп преобладают спелые и перестойные древостои, которые занимают 42,4 % площади всех осинников, что свидетельствует о слабом использовании лесосечного фонда. В большинстве лесничеств максимальный возраст осинников составил более 80 лет (рис. 6), значительно превышая критический уровень естественной сохранности древостоев данной породы (рис. 7), которые замещаются другими породами. Наиболее старые осинники произрастают в Килемарском лесничестве, а наиболее молодые и простые по возрастной структуре – в лесничествах, сильно пострадавших от пожаров 1972 года: Черноозерском, Дорогучинском и Юринском (рис. 8). Наиболее же сложна возрастная структура осинников в тех лесничествах, где пожары случаются редко (рис. 9). Связь индексов сложности и выравненности возрастной структуры осинников с их средним возрастом прямая, но довольно слабая ($r = 0,34 \dots 0,45$), что свидетельствует об информативной независимости друг от друга данных параметров. Отмечается тенденция к возрастанию индекса SG с увеличением доли осинников в лесном фонде лесничеств ($r = 0,38$). Связь же среднего возраста осинников с коэффициентом их расселения практически не выражена ($r = 0,18$).

Т а б л и ц а 9

Статистика параметров возрастной структуры осинников различных лесничеств Республики Марий Эл

Параметр структуры	Значения статистических показателей				
	M_x	min	max	S_x	V, %
Средний возраст, лет	42,5	14,9	65,8	10,9	25,5
Максимальный возраст, лет	84,3	40	130	14,1	16,7
Число классов возраста	7,4	2	11	1,6	22,0
Индекс сложности структуры SG	4,41	1,10	8,30	1,54	34,8
Индекс выравненности структуры E	0,60	0,28	0,98	0,16	26,3

Примечание: индекс сложности вычислен по формуле Симпсона-Гибсона $SG = 1/\sum p^2$, где p – доля площади осинников i -го класса возраста от общей их площади в лесничестве; $E = SG/k$, где k – число классов возраста древостоев.



Рис. 5. Возрастная структура осинников Республики Марий Эл

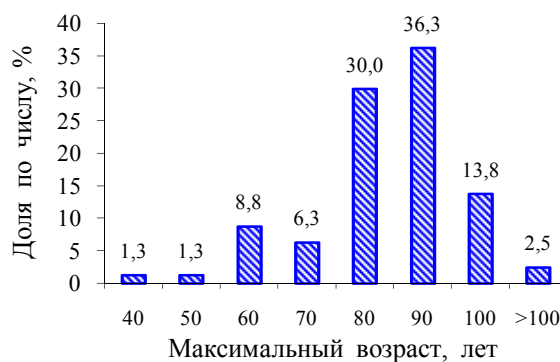


Рис. 6. Характер изменения максимального возраста осинников в разрезе лесничеств

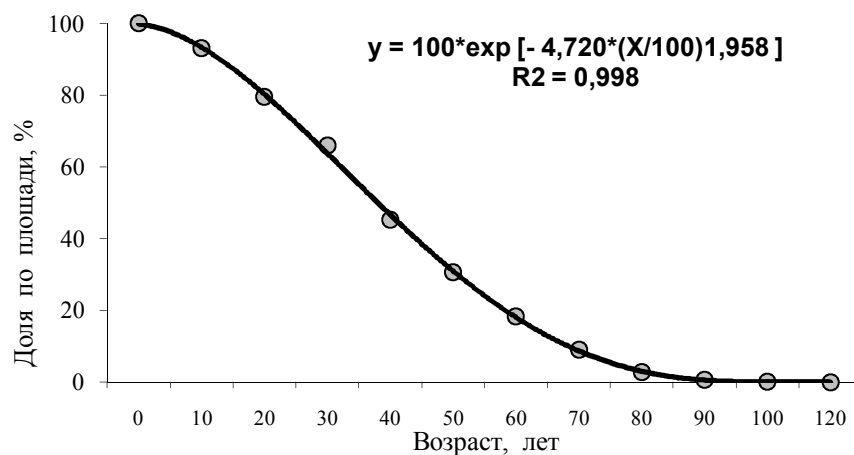


Рис. 7. Динамика сохранности древостоев с преобладанием осины в лесном фонде Марий Эл

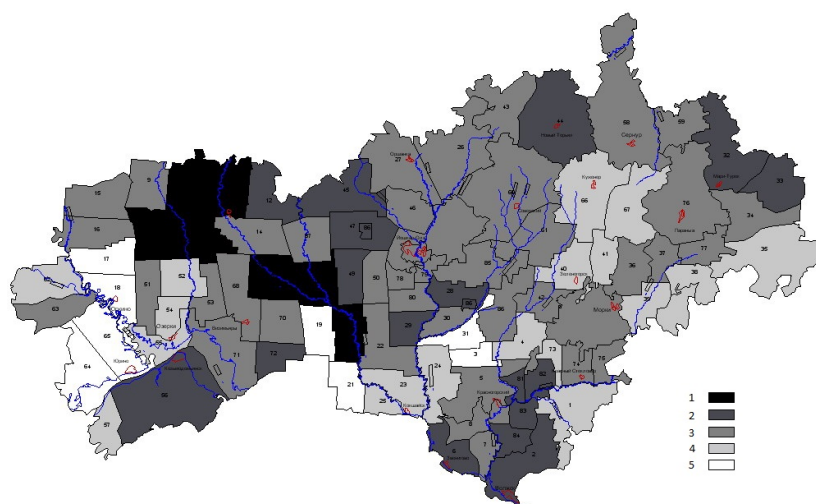


Рис. 8. Характер пространственного изменения среднего возраста осинников в Марий Эл (1 – возраст выше 55 лет; 2 – 45-55 лет; 3 – 35-45 лет; 4 – 25-35 лет; 5 – ниже 25 лет)

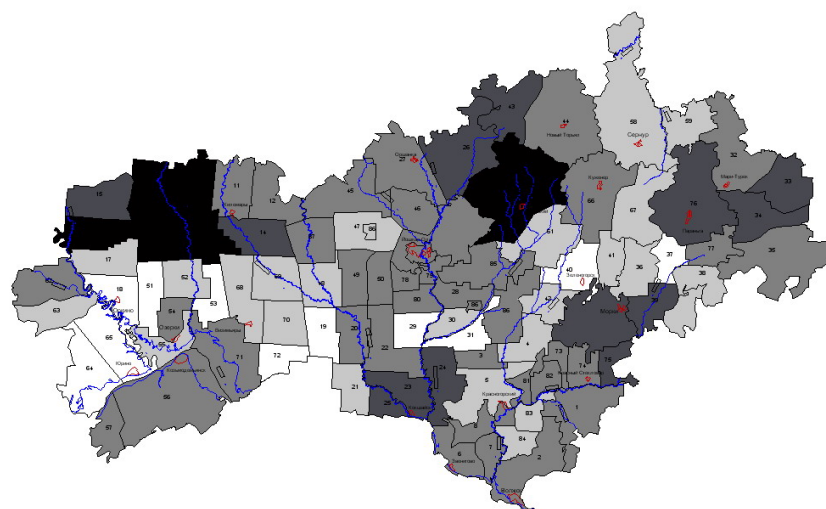


Рис. 9. Пространственное изменение сложности возрастной структуры осинников в Марий Эл (1 – индекс сложности выше 6,8; 2 – 5,42-6,86; 3 – 3,98-5,42; 4 – 2,54-3,98; 5 – менее 2,54)

Возраст древостоев является одним из ведущих факторов, определяющих их состав и производительность. Так, доля плотности популяции осины наиболее высока в молодняках (табл. 10). В дальнейшем она неуклонно снижается и особенно быстро в неподходящих для нее борových условиях. В сураменях же осина довольно долго удерживает свои позиции [15]. Максимум полноты древостоев с преобладанием осины отмечается в среднем в возрасте 20–30 лет, после чего она постепенно снижается, достигая к возрасту 100 лет до 0,5–0,6 (рис. 10). Наивысший же наличный запас стволовой древесины накапливается осинниками в основном к 7 классу возраста, составляя в зависимости от ТЛУ 249...290 м³/га (табл. 11). Для описания динамики запаса (Y , м³/га) по классам возраста (X) лучше всего подходит функция оптимума $Y = 100 \cdot X / (aX^2 - bX + c)$, значения параметров которой для каждого ТЛУ сугубо специфичны (табл. 12). Интересно отметить, что величина запаса древесины в спелых осинниках, произрастающих на богатых серых лесных почвах Волжского Правобережья в ТЛУ Д₂, ниже, чем в ТЛУ В₃ Марийского Заволжья. Максимум текущего годовичного прироста запаса отмечается в осинниках 4 класса возраста и изменяется по ТЛУ от 5,4 до 6,6 м³/га (табл. 13). Распад осинников начинается после 7 класса возраста и запас древесины в них ежегодно снижается на 1,5...2,9 м³/га.

Таблица 10

Возрастные изменения доли участия осины в составе древостоев заповедника «Большая Кокшага»

ТЛУ	Доля участия осины в древостоях различного класса возраста, %						
	1-20 лет	21-40 лет	41-60 лет	61-80 лет	81-100 лет	101-120 лет	> 120 лет
А ₃	16,7	8,9	4,7	7,4	7,1	-	-
В ₂	27,8	7,9	2,7	4,8	6,6	-	-
В ₃	37,7	19,0	12,8	13,5	14,5	14,0	10,0
С ₂	25,7	20,1	25,0	29,4	25,5	17,7	10,2
С ₃	19,4	13,5	17,4	19,6	16,8	16,5	7,1
С ₄	6,4	2,3	4,4	5,5	11,0	6,9	-

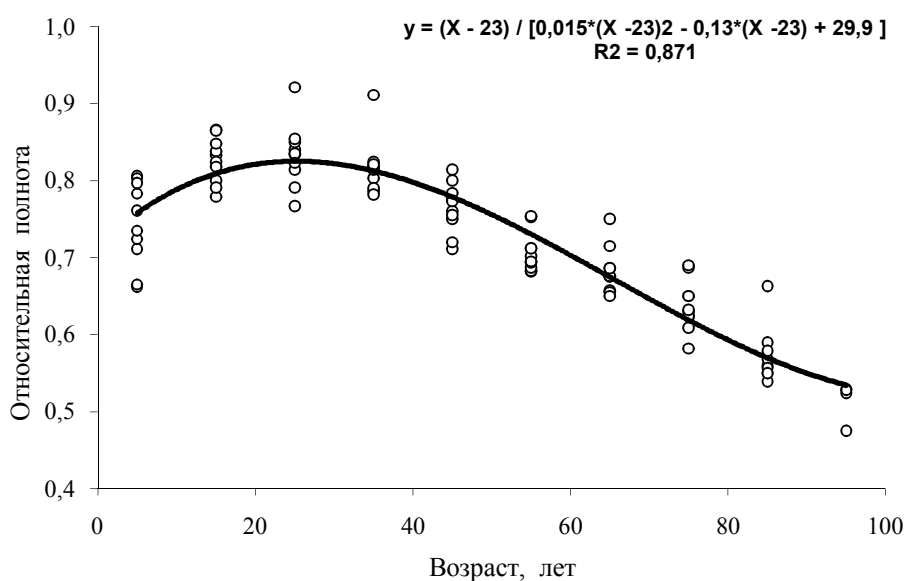


Рис. 10. Динамика относительной полноты осинников Марий Эл

Т а б л и ц а 11

Динамика наличного запаса стволовой древесины осинников Марий Эл в различных ТЛУ

ТЛУ	Средний запас стволовой древесины по классам возраста насаждений, м ³ / га										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
B ₂	28	68	121	178	225	249	249	234	212	189	168
B ₃	28	71	128	194	253	284	286	268	241	213	188
C ₂	36	83	137	191	234	260	267	261	247	230	212
C ₃	26	65	120	186	244	273	270	248	219	190	166
D ₂	40	90	143	194	232	254	261	256	245	230	214

Т а б л и ц а 12

Параметры функции, описывающей динамику запаса древесины осинников в различных ТЛУ

Параметры функции	Значения параметров функции $Y = 100 \cdot X / (aX^2 - bX + c)$ для разных ТЛУ				
	B ₂	B ₃	C ₂	C ₃	D ₂
a	0,106	0,103	0,067	0,123	0,058
b	0,977	1,004	0,562	1,205	0,432
c	4,456	4,425	3,272	5,000	2,865
R ²	0,995	0,966	0,995	0,984	0,982

Анализ литературы [8, 10–12] и собственных материалов [13, 16] показал, что основной причиной распада осинников является поражение их стволовыми гнилями, часто связанных с ложным ядром и черным раком. Установлено, что встречаемость деревьев с плодовыми телами ложного осинового трутовика достигает 70 %, изменяясь в очень больших пределах в зависимости от возраста древостоев (рис. 11) и формового разнообразия клонов осины. В пределах одной ценопопуляции осины наиболее поражены гнилью крупные деревья (рис. 12), а плодовые тела грибов чаще всего встречаются на высоте 2,5...3 м (рис. 13). Ядровая гниль распространяется от плодового тела вверх и вниз по стволу на 4...6 м (рис. 14). Черный рак осины наиболее распространен в древостоях 35–45 лет. К возрасту 80 лет вред от данной болезни снижается до хозяйственно незначимого уровня.

Т а б л и ц а 13

Динамика годичного прироста наличного запаса стволовой древесины в осинниках Марий Эл

ТЛУ	Средний годичный прирост запаса стволовой древесины по классам возраста, м ³ / га										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
B ₂	2,8	4,0	5,3	5,7	4,7	2,4	0,0	-1,5	-2,2	-2,3	-2,1
B ₃	2,8	4,2	5,8	6,6	5,8	3,2	0,2	-1,8	-2,7	-2,8	-2,5
C ₂	3,6	4,7	5,4	5,4	4,3	2,6	0,8	-0,6	-1,4	-1,7	-1,8
C ₃	2,6	3,9	5,5	6,6	5,8	2,9	-0,3	-2,3	-2,9	-2,8	-2,5
D ₂	4,0	4,9	5,4	5,0	3,8	2,2	0,7	-0,5	-1,1	-1,5	-1,6

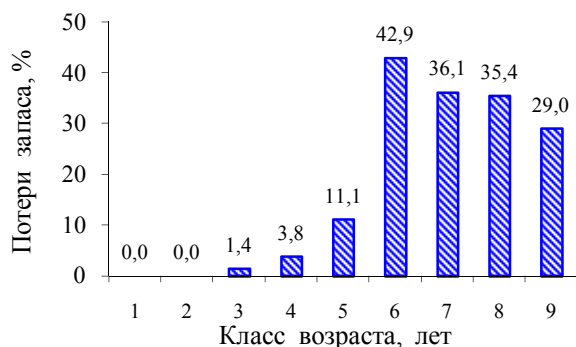


Рис. 11. Потери запаса стволовой древесины от стволовых гнилей в осинниках разного возраста

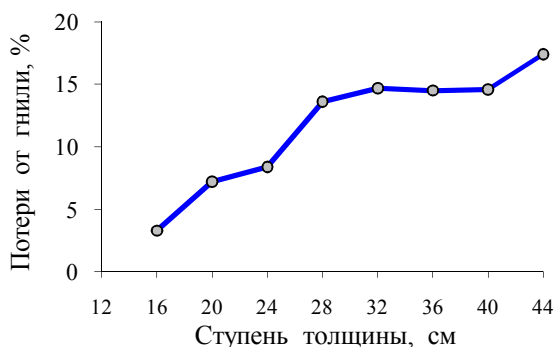


Рис. 12. Характер поражения гнилью деревьев разного размера в 60-летних осинниках

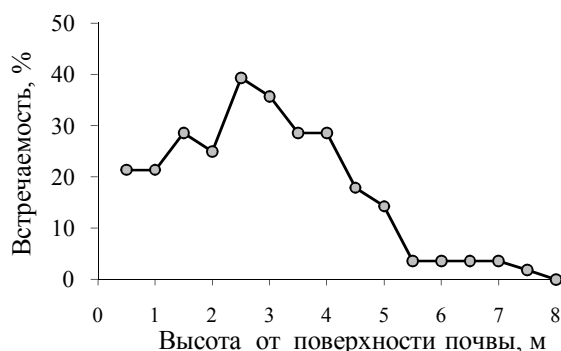


Рис. 13. Встречаемость плодовых тел ложного осинового трутовика на различной высоте ствола деревьев



Рис. 14. Распространение ядровой гнили по стволу от места расположения плодового тела ложного осинового трутовика

Распространение осинников и их продуктивность в Республике Марий Эл за последние полвека не оставались постоянными, а претерпевали значительные изменения. Так, площадь древостоев с преобладанием осины была наибольшей в 1963 году, составляя 107 тыс. га (рис. 15), причиной чему являлись значительные площади гарей 1921 года, а также рубок военного и послевоенного времени. Затем площадь осинников под действием природных факторов и лесохозяйственной деятельности постепенно снизилась вдвое (до 54,5 тыс. га), что является весьма отрядным фактом. Общий запас стволовой древесины в осинниках был наивысшим в 1973 году, составляя 12,7 млн. м³. Затем он резко снизился, составляя в 1983 году 10,1 млн. м³. Средний удельный запас стволовой древесины в осинниках за последние полвека повысился в целом на 62 м³/га (в 1,5 раза). Его величина варьировала в древостоях I класса возраста в это время от 5 до 24, II – от 53 до 77, в средневозрастных – от 106 до 148, приспевающих – от 147 до 203, спелых – от 190 до 272, перестойных – от 235 до 309 м³/га. В молодняках, средневозрастных и приспевающих осинниках удельный запас неуклонно возрастал (рис. 17).

То же самое происходило и в древостоях других пород [17], что связано, на наш взгляд, с увеличением концентрации в атмосфере CO₂ и других промышленных выбросов, которые при существующих дозах оказывают благоприятное воздействие на растения в виде внекорневой и корневой подкормки элементами питания (соединений азота, к примеру, выпадает на территории Марий Эл всего около 5 кг/га в год). В спелых и перестойных древостоях удельный запас флуктуировал в значительных пределах, причиной чего являлись, вероятно, ветровалы и буреломы.

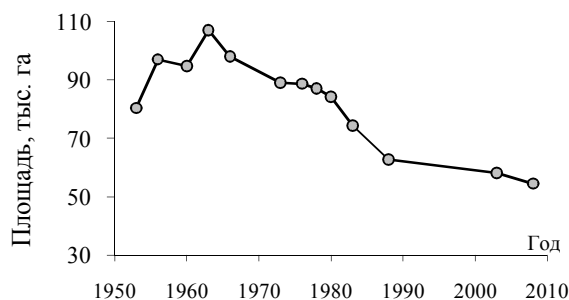


Рис. 15. Динамика площади осинников Марий Эл за период с 1953 по 2008 годы

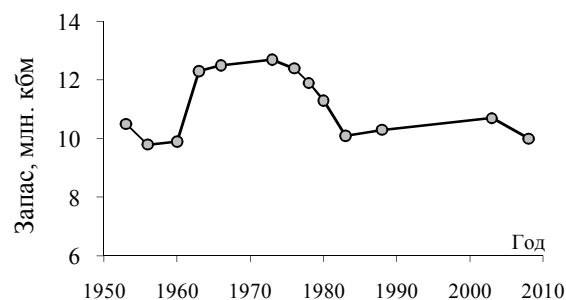


Рис. 16. Динамика общего запаса осинников Марий Эл за период с 1953 по 2008 годы

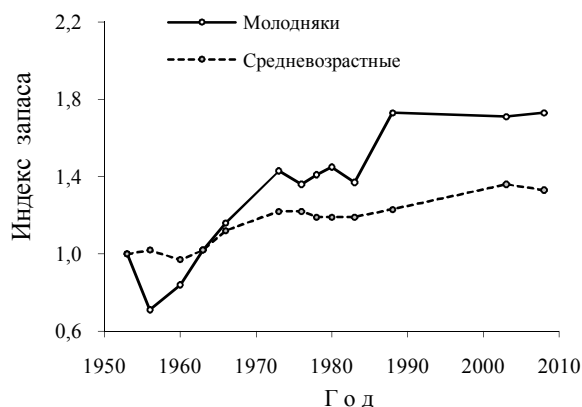
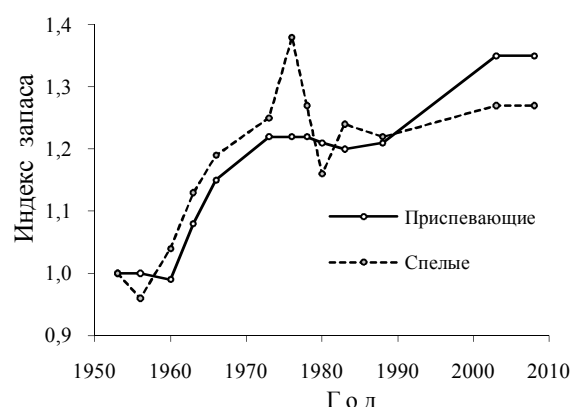


Рис. 17. Динамика индексов удельного запаса осинников Марий Эл относительно уровня 1953 года



Выводы.

1. Коэффициент расселения осины в лесном фонде лесничеств Марий Эл изменяется от 12,3 до 85,1 %, а плотности ее популяции – от 2,0 до 23,7 %, что связано с почвенно-экологическими условиями их территорий, особенностями ведения хозяйства и наличием трудовых ресурсов. Наиболее распространена осина в свежих сураменях.

2. Чаще всего встречаются насаждения с участием осины в количестве 1–2 единиц. Доля насаждений, где осина составляет более 7 единиц, очень мала. В большинстве случаев степень представленности площади древостоев обратно пропорциональна доле участия в них осины, однако формы кривых распределения довольно разнообразны.

3. Класс бонитета осинников Марий Эл изменяется в очень больших пределах (от I^б до V), что свидетельствует как о разнообразии условий произрастания, так и довольно высокой экологической пластичности этой породы. Наиболее представлены в республике осинники I класса бонитета, доля площади которых в разрезе лесничеств изменяется от 0 до 90 %, а средний класс бонитета варьирует от I^а,75 до II,27.

4. Относительная полнота осинников Марий Эл варьирует, как и бонитет, в очень больших пределах (от 0,2 до 1,0), что связано как с естественными, так и антропогенными причинами. Доминируют в республике высокополнотные осинники, а средняя полнота изменяется в разрезе лесничеств от 0,60 до 0,89. Доля низкополнотных осинников в целом невелика, однако в ряде лесничеств она может достигать 14 %. Максимум полноты древостоев с преобладанием осины отмечается в среднем в возрасте 20–30 лет, после чего она постепенно снижается, достигая к возрасту 100 лет до 0,5–0,6.

5. Возрастная структура древостоев с преобладанием осины далека от идеала и не может обеспечить стабильность лесопользования. Наиболее представлены в лесном фонде Марий Эл осинники IV класса возраста. В разрезе же возрастных групп преобладают спелые и перестойные древостои, которые занимают 42,4 % площади всех осинников, что свидетельствует о слабом использовании лесосечного фонда. В большинстве лесничеств максимальный возраст осинников составил более 80 лет. Средний возраст осинников составляет 42,5 года, а возраст отдельных древостоев – 130 лет.

6. Наивысший наличный запас стволовой древесины накапливается осинниками к 7 классу возраста, составляя в зависимости от ТЛУ 249...290 м³/га. Величина запаса древесины в спелых осинниках, произрастающих на богатых серых лесных почвах Волжского Правобережья, в ТЛУ Д₂ оказалась ниже, чем в ТЛУ В₃ Марийского Заволжья. Максимум текущего годовичного прироста запаса отмечается в осинниках 4 класса возраста и изменяется по ТЛУ от 5,4 до 6,6 м³/га. Начиная с 7 класса возраста происходит распад осинников и запас древесины в них ежегодно снижается на 1,5...2,9 м³/га.

7. Основной причиной распада осинников является поражение их стволовыми гнилями и черным раком. Встречаемость деревьев с плодовыми телами ложного осинового трутовика достигает 70 %, изменяясь в очень больших пределах в зависимости от возраста древостоев и формового разнообразия клонов осины. В пределах одной ценопопуляции осины наиболее поражены гнилью крупные деревья, а плодовые тела грибов чаще всего встречаются на высоте 2,5...3 м. Ядровая гниль распространяется от плодового тела вверх и вниз по стволу на 4...6 м. Черный рак осины наиболее распространен в древостоях 35–45 лет. К возрасту 80 лет вред от данной болезни снижается в осинниках до хозяйственно незначимого уровня.

8. Распространение осинников и их продуктивность в Марий Эл за последние полвека претерпевали значительные изменения: площадь древостоев с преобладанием осины была наибольшей в 1963 году, а общий запас стволовой древесины – в 1973 году. К настоящему времени площадь осинников под действием природных факторов и лесохозяйственной деятельности снизилась вдвое по сравнению с максимальной отметкой, что является весьма отрядным фактом. Средний удельный запас стволовой древесины в молодняках, средневозрастных и приспевающих осинниках за последние полвека неуклонно возрастал, что связано с увеличением концентрации в атмосфере CO₂ и других промышленных выбросов, которые при существующих дозах оказывают благоприятное воздействие на растения в виде подкормки элементами питания.

Список литературы

1. Соколов, С.Я. Ареалы деревьев и кустарников СССР / С.Я. Соколов, О.А. Связева, В.А. Кубли. – Л.: Наука, 1977. Т. 1. – 164 с.
2. Атлас биологического разнообразия лесов Европейской России и сопредельных территорий. – М.: ПАИМС, 1996. – 144 с.
3. Смилга, Я.Я. Осина / Я.Я. Смилга. – Рига: Зинатне, 1986. – 238 с.
4. Пчелин, В.И. Дендрология / В.И. Пчелин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 519 с.
5. Турский, М.К. О смене ели и сосны осиною / М.К. Турский // Лесной журнал. – 1886. – № 4. – С. 384–390.
6. Нестеров, Н.С. О пользе осины в нашем лесном хозяйстве / Н.С. Нестеров // Лесной журнал. – 1887. – № 6. – С. 677–687.
7. Судакова, З.В. Роль и значение осины в растительном покрове Московской области / З.В. Судакова: автореф. дис... канд. с.-х. наук. – М.: МЛТИ, 1954. – 18 с.
8. Михайлов, Л.Е. Осинники / Л.Е. Михайлов. – М.: Лесная промышленность, 1972. – 120 с.
9. Усольцев, В.А. Этюды о наших лесных деревьях / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: «Банк культурной информации», 2008. – 188 с.

10. Пчелин, В.И. Зараженность осинников ложным осиновым трутовиком в Среднем Поволжье / В.И. Пчелин, М.Д. Данилов // Сб. тр. Марийского политехнического ин-та. – Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во, 1972. – № 59, вып. 3. – С. 74–77.
11. Стороженко, В.Г. Пораженность осинников Костромской области ложным осиновым трутовиком / В.Г. Стороженко // Лесное хозяйство. – 1979. – № 10. – С. 54–55.
12. Стороженко, В.Г. Объемные показатели грибного поражения осинников / В.Г. Стороженко, Л.Е. Михайлов // Лесное хозяйство. – 1986. – № 8. – С. 41–42.
13. Гаврицкова, Н.Н. Болези осины в Волжско-Камском регионе и их хозяйственная оценка / Н.Н. Гаврицкова: дис... канд. с.-х. наук. – Йошкар-Ола: МарГУ, 1998. – 204 с.
14. Швиденко, А.И. Ареал пихты и плотность ее популяций на Советской Буковине / А.И. Швиденко // Лесоведение. – 1986. – № 4. – С. 63–69.
15. Демаков, Ю.П. Динамика производительности и состава древостоев в различных экотопах заповедника «Большая Кокшага» / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». – Йошкар-Ола, 2009. Вып. 4. – 24–67.
16. Демаков, Ю.П. Состояние пойменных насаждений Марий Эл и биологическая устойчивость слагающих их пород / Ю.П. Демаков, А.Ф. Агафонов, Е.К. Кудрявцев, А.В. Иванов // Рубки и восстановление леса в Среднем Поволжье. – М.: ВНИИЛМ, 1992. – С. 58–72.
17. Демаков, Ю.П. Изменения климата и состояния лесов Республики Марий Эл в XX столетии / Ю.П. Демаков, М.Г. Сафин, А.Е. Смыков // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2009. – № 2. – С. 40–48.

Статья поступила в редакцию 28.04.11.

Yu . P. Demakov, A. E. Smykov, N. N. Gavrickova

STRUCTURE, PRODUCTIVITY AND DYNAMICS OF MARI EL REPUBLIC ASPEN FORESTS

The data, characterizing aspens population dissemination (Populus tremula L.) on the territory of Mari El Republic in accordance with the types of forest sites, proportions of forest stands, age, bonitet classes and density. Trunk rots in the aspen forest is shown. Regularities of age-specific changes of the forest stands productivity with the prevalence of aspens and some tendencies of the evolution in the period from 1953 to 2008 are determined.

Key words: aspen, cenopopulation, structure, productivity, dynamics.

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты МарГТУ. Область научных интересов – биогеоэкология. Автор 220 научных и учебно-методических работ, в том числе трех монографий и пяти учебных пособий.

E-mail: DemakovYP@marstu.net

СМЫКОВ Андрей Евгеньевич – кандидат сельскохозяйственных наук, инженер первой категории Марийской лесоустроительной экспедиции «Центрлеспроект» филиала ФГУП «Рослесинфорг». Область научных интересов – лесная таксация и лесоустройство. Автор 15 публикаций.

E-mail: Smykov-Andrej@yandex.ru

ГАВРИЦКОВА Наталья Николаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, зав. кафедрой управления природопользованием и лесозащиты МарГТУ. Область научных интересов – фитопатология и микология. Автор 80 научных и учебно-методических работ, в том числе четырех учебных пособий.

E-mail: GavrickovaNN@marstu.net

УДК 630.232.43: 712.4.01

А. В. Кобяков, С. Л. Рысин

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТИПОВ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Описана оригинальная методика оценки качества искусственных насаждений для рекреационных целей. Приведены результаты исследования сложного, смешанного рекреационного насаждения. Рекомендованы три перспективных типа лесных культур, даны их краткие описания и схемы посадки.

Ключевые слова: лесные культуры, рекреационное лесоводство, оценка качества.

Введение. Только правильно спроектированные и созданные искусственные насаждения способны без утраты своих средообразующих и декоративных качеств удовлетворять потребности населения в отдыхе на природе. В последнее десятилетие объемы лесовосстановительных работ в Московском регионе сократились до недопустимого минимума, но проблема заключается не только в этом. Подавляющее большинство искусственных насаждений на урбанизированных территориях создавалось и создается по традиционным схемам – лесопарковые посадки отличаются от обычных «производственных» лесных культур лишь несколько более широким ассортиментом видов древесных растений. Однако между производственными культурами и культурами в лесах зеленых зон есть ряд существенных различий. При создании первых стремятся, главным образом, к выращиванию высокопродуктивных насаждений и получению наибольшего количества качественной древесины. Вторые же чаще используются для рекреации, а потому должны характеризоваться большой привлекательностью для посетителей, комфортными условиями для их отдыха и высокой устойчивостью к антропогенным нагрузкам. Необходим новый подход к проектированию и созданию лесных культур для рекреационных лесов на основе тщательного анализа накопленного опыта и многофакторной, комплексной оценки существующих искусственных насаждений.

Одна из важнейших проблем – изучение сохранившихся лесных и лесопарковых культур с целью выявления среди них наиболее привлекательных для посетителей и устойчивых к антропогенным воздействиям.

Цель работы – выработка методического подхода к проектированию лесных и лесопарковых культур, перспективных для урбанизированных территорий (на примере зеленой зоны г. Москвы). Этот подход должен базироваться на результатах объективной оценки состояния и рекреационной ценности уже существующих насаждений.

Методы и объекты исследования. Для того чтобы оценить качество насаждения, которое используется в целях рекреации, недостаточно рассматривать лишь его таксационные характеристики. По нашему мнению, такая работа должна проводиться по трем направлениям:

- 1) оценка состояния древесных растений в насаждении;
- 2) оценка рекреационной привлекательности насаждения в целом;
- 3) оценка стабильности насаждения.

Наблюдения проводятся на постоянных (ППП) или временных пробных площадях (ВПП) общепринятыми в лесной таксации методами. Площади закладываются в наиболее типичных местах массива культур с таким расчетом, чтобы охватить не менее 200 деревьев (или все искусственное насаждение, если оно невелико). Для изучения древесных растений в искусственных насаждениях рекреационного назначения нами предложена оригинальная методика, которая основывается на т. н. «Классификации деревьев IUFRO» [1] и «Методике оценки состояния древесных интродуцентов на урбанизированных территориях», разработанной в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН [2].

Оценку качества каждого дерева на пробной площади производят по семи показателям (табл. 1); оценка производится по трехбалльной шкале (от 0 до 2 баллов).

Т а б л и ц а 1

**Шкала для оценки состояния деревьев
в искусственных насаждениях рекреационного назначения**

Показатель	Балл
1. Положение в вертикальной структуре древостоя	
- деревья верхнего яруса, образующие полог	2
- деревья второго яруса	1
- деревья нижних ярусов	0
2. Уровень развития растения	
- исключительно хороший	2
- нормальный	1
- низкий	0
3. Статус растения в культурфитоценозе	
- лидирующее	2
- стабильное	1
- отстающее	0
4. Эколого-лесоводственное значение	
- деревья ценные, важные для формирования древостоя	2
- деревья, выполняющие средообразующие функции	1
- деревья малоценные с хозяйственной и эстетической точек зрения	0
5. Состояние растения	
- без признаков ослабления	2
- ослабленное	1
- сильно ослабленное	0
6. Качество ствола	
- ствол нормально развит, без наклона и видимых повреждений	2
- ствол нормально развит, с незначительными дефектами и/или повреждениями; отклонение от вертикали не превышает 30°	1
- ствол с существенными дефектами (искривленный, дуплистый и др.) и значительными повреждениями; отклонение от вертикали более 30°	0
7. Качество кроны	
- крона характерная для вида, полная, нормально развитая; более ½ высоты дерева	2
- крона атипичная, непропорциональная и/или частично изреженная; ¼ – ½ высоты дерева	1
- крона короткая и/или сильно изреженная; менее ¼ высоты дерева	0

Для того, чтобы дать заключение о качестве деревьев каждого вида в насаждении, следует рассчитать соответствующий показатель:

$$I_G = \frac{P_G}{14 \times T_G},$$

где I_G – показатель качества деревьев данного вида, P_G – сумма баллов оцененных деревьев данного вида, T_G – количество деревьев этого вида на пробной площади, 14 – максимально возможное количество баллов.

В случае напряженной конкуренции между древесными растениями в насаждении возникает необходимость более детального изучения особенностей роста и развития представителей разных видов.

Аналогично рассчитывают значение обобщенного показателя качества деревьев (I_T), характеризующего качество древостоя в целом:

$$I_T = \frac{P_T}{14 \times T_T},$$

где P_T – сумма баллов всех оцененных деревьев, T_T – общее количество деревьев на пробной площади, 14 – максимально возможное количество баллов.

В зависимости от рассчитанного значения I_T делают заключение о качестве деревьев, составляющих насаждение:

Значение I_T	Качество растений
0 – 0,33	низкое
0,34 – 0,66	среднее
0,67 – 1,00	высокое

Для оценки **привлекательности** насаждения следует пользоваться шкалой, приведенной в табл. 2.

Для обобщающей оценки привлекательности следует использовать показатель привлекательности, который рассчитывается по формуле

$$A_I = \frac{P_I}{20},$$

где A_I – показатель привлекательности насаждения, P_I – сумма оценочных баллов по всем показателям, 20 – максимально возможное количество баллов.

В зависимости от рассчитанного значения A_I делают заключение о привлекательности насаждения в целом:

Значение A_I	Привлекательность насаждения
0 – 0,33	низкая
0,34 – 0,66	средняя
0,67 – 1,00	высокая

Стабильность искусственного насаждения следует рассматривать, основываясь на понятии типа лесных культур (ТЛК), которое, по нашему мнению, следует определить как тип искусственных лесных экосистем с определенным породным составом древостоя в одном и том же типе лесорастительных условий. Необходимо различать исходные и производные типы культур. Исходные типы искусственных насаждений формируются в момент их создания и могут существовать в течение более или менее продолжительного времени. Под воздействием различных факторов (взаимовлияние древесных растений, болезни и вредители, хозяйственная деятельность человека, рекреация и др.), в первую очередь за счет изменения видового состава культур, происходят превращения их исходных типов в типы производные. Таким образом, среди искусственных насаждений можно выделить:

Т а б л и ц а 2

Шкала для оценки привлекательности искусственных насаждений

Показатель		Характеристика, значение признака	Балл
Породный состав насаждения		Монокультуры или смешанные древостои из двух пород	0
		Смешанные древостои из трех-пяти пород	1
		Смешанные многопородные (более пяти пород) древостои	2
Смешение пород		Чистые культуры	0
		Смешение чистыми рядами	1
		Отдельными посадочными (посевными) местами или их звеньями, шахматное, кулисное, биогруппами или гнездами, бессистемное	2
Ярусность (вертикальная структура)	Ярусность и возраст насаждения	Одноярусные древостои	0
		Двухъярусные одновозрастные древостои	1
		Многоярусные древостои; двухъярусные разновозрастные древостои	2
	Подрост и подлесок	Сильно загущенный	0
		Отсутствует или малочисленен	1
		Средней густоты или редкий, равномерно размещён по территории	2
Мозаичность (горизонтальная структура)	Полнота	Насаждения с полнотой 0,9...1,0	0
		Насаждения с полнотой 0,6...0,8	1
		Насаждения с полнотой 0,3...0,5 вполне устойчивые низкополнотные культуры	2
	Размещение	Равномерное размещение, рядами	0
		Равномерное размещение, рядов незаметно, либо смешанное	1
		Четко выраженное групповое размещение	2
Просматриваемость		до 10 м	0
		от 11 до 30 м	1
		от 51 м и более	2

- стабильные, для которых характерен полностью сохранившийся исходный тип лесных культур;

- относительно стабильные, в которых после ряда изменений сформировался устойчивый производный ТЛК;

- нестабильные, в которых продолжаются трансформации исходного ТЛК [3].

Для интегральной оценки искусственных насаждений на урбанизированных территориях мы предлагаем использовать классы перспективности. Наиболее перспективными для рекреационного использования являются насаждения первого класса перспективности – I КП, получившие высокую оценку по показателям «качество деревьев» и «привлекательность насаждения», а также характеризующиеся высокой стабильностью. Искусственные насаждения, характеризующиеся средними оценками по показателям «качество деревьев» и «привлекательность насаждения» или относительной стабильностью, относят ко II КП, что свидетельствует о необходимости проведения комплекса адекватных хозяйственных мероприятий (главным образом, рубок). Если же хоть один из показателей получает низкую оценку или насаждение признано нестабильным, его относят к III КП, рекреационное использование которого нежелательно.

Результаты исследований и их обсуждение. Разработанная нами методика была апробирована при оценке состояния и качества рекреационных искусственных насаждений Мытищинского лесопарка Национального парка «Лосиный остров» (Московская обл.), создававшихся специально для отдыха населения.

В качестве примера рассмотрим **берёзово-липово-вязовые культуры** с кулисным смещением по схеме

Б – Б – В – Лп,

которые были созданы в 1950 г. путем рядовой посадки двух–трехлетних саженцев. Схема посадки: величина междурядья для рядов Б – Б и Б – В равна 2 м, для рядов В – Лп и Лп – Б равна 2,5 м, шаг посадки для всех пород – 2,5 м. Первоначально в состав культур входил кустарник, который впоследствии выпал из насаждения из-за дефицита света.

При оценке компонентов искусственного насаждения было установлено, что березу в нем характеризует высокое качество ($I_G=0,78$), качество липы – среднее ($I_G=0,34$), качество вяза – низкое ($I_G=0,16$); обобщенный показатель качества деревьев находится на среднем уровне ($I_T=0,48$).

Через 60 лет, прошедших с момента посадки, берёза господствует в исследуемом насаждении, занимая верхний ярус древостоя ($H_{ср}=30$ м). Липа и вяз находятся во втором ярусе, испытывая затенение от примыкающих к ним вплотную рядов березы. Средняя высота липы почти в два раза меньше ($H_{ср}=16$ м) березы, но существенно больше высоты вяза ($H_{ср}=7$ м).

Береза доминирует по всем оцененным показателям. Эта порода отличается высоким уровнем развития, благодаря чему в значительной степени формирует облик насаждения. Липа и вяз, значительно отстают в росте, что объясняется сильным влиянием со стороны березы. Вяз не способен в будущем выйти в первый ярус, фактически он находится в состоянии отмирания. Практически все экземпляры вяза имеют атипичную крону, их состояние можно оценить как сильно ослабленное, они малоценны с хозяйственной и эстетической точек зрения.

Состояние большинства лип ослабленное; их кроны атипичны; большинство стволов развиты нормально, но в ряде случаев имеют небольшой наклон (следствие борьбы за свет). В то же время присутствие липы способствует формированию у насаждения специфического «лесного» облика. Липа переносит затенение менее болезненно по

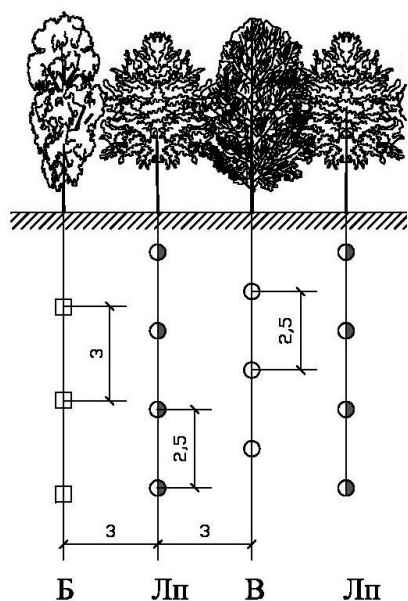


Рис 1. Схема размещения растений в березово-липово-вязовых культурах

сравнению с вязом, в будущем она способна выйти в первый ярус, однако для этого необходимо проведение ландшафтных рубок. Сравнивая развитие вяза и липы, необходимо отметить, что расстояние между рядами берёзы и вяза меньше, чем между липой и берёзой, соответственно вяз испытывает большее угнетение.

Привлекательность насаждения средняя ($A_I=0,5$). Это объясняется тем, что обследованные культуры имеют относительно простую горизонтальную структуру с хорошо заметным размещением рядов.

В насаждении продолжается дифференциация деревьев: ослабленные экземпляры липы, а в особенности вяза, выпадают из его нижних ярусов. Культурфитоценоз нестабилен. Таким образом, исследуемый тип лесных культур следует отнести к третьему классу перспективности (средняя оценка по качеству деревьев и привлекательности, нестабильный тип). Рекреационное использование культур этого типа нежелательно.

Основываясь на полученных результатах, мы предлагаем к созданию следующие типы искусствен-

ных насаждений, перспективных для лесорастительных условий (C_2 – C_3) Мытищинского лесопарка Национального парка «Лосиный остров».

Схема №1 (рис. 1). Березово-липово-вязовые культуры (Б – Лп – В – Лп).

Участие пород и число посадочных мест на 1 га следующее: берёза – 278 шт. (22 %), липа – 667 шт. (52 %), вяз – 333 шт. (26 %); общее количество посадочных мест – 1278 шт./га. Схема посадки: величина междурядья – 3 м, шаг посадки – 2,5 м для липы и вяза, 3 м для берёзы.

Схема №2 (рис. 2). Вязово-березово-липовые культуры с кустарником (Б – к – В – Лп – В – к).

Участие пород и число посадочных мест на 1 га: вяз – 534 шт. (34 %), берёза – 221 шт. (14 %), липа – 266 шт. (18 %), кустарник – 534 шт. (34 %); общее количество посадочных мест – 1556 шт./га. Схема посадки: величина междурядья – 2,5 м, шаг посадки – 2,5 м для вяза, липы и кустарника, 3 м для берёзы.

Схема №3 (рис. 3). Липово-вязовые культуры (Лп – В).

Участие пород и число посадочных мест на 1 га: вяз – 667 шт. (55 %), липа – 556 шт. (45 %); общее количество посадочных мест – 1222 шт./га. Схема посадки: величина междурядья – 3 м, шаг посадки – 2,5 м для вяза, 3 м для липы.

При закладке культур по схеме №1 создаётся смешанное березово-липово-вязовое насаждение. Сочетание рядов быстрорастущих и светолюбивых пород (берёза, вяз) с медленно растущей и теневыносливой (липа) способствует формированию сложного по вертикальной структуре, смешанного насаждения. Обязательным условием успешности создания таких культур является своевременное проведение рубок ухода. Возможно также использование разновозрастного посадочного материала (сеянцев быстрорастущих пород и саженцев медленно растущих) – это позволит снизить конкуренцию между компонентами насаждения.

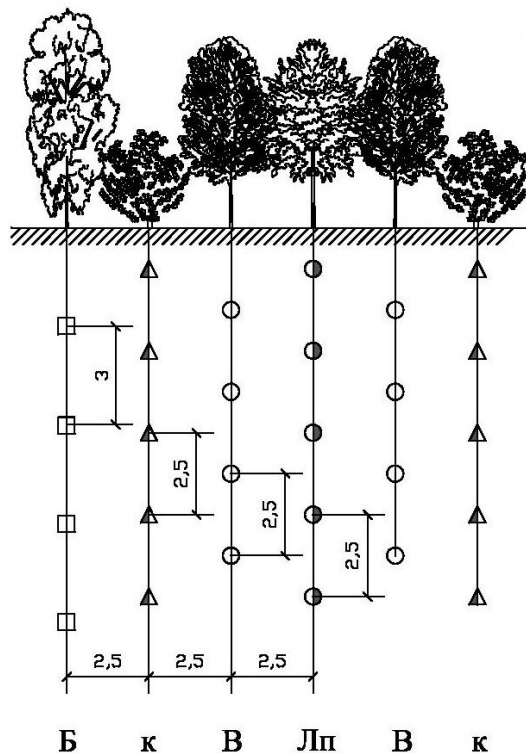


Рис. 2. Схема размещения растений в вязово-березово-липовых культурах с кустарником

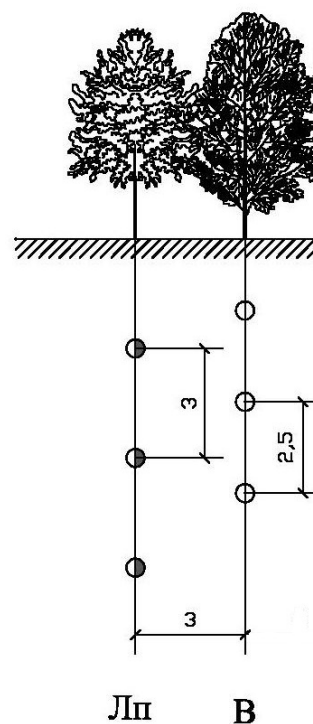


Рис. 3. Схема размещения растений в липово-вязовых культурах

Создание культур по схеме №2 даёт возможность получить привлекательное смешанное насаждение с вязом и березой в первом ярусе, липой – во втором и кустарником в третьем. Можно сказать, что такой тип культур будет максимально приближен к облику естественного леса. Выбор кустарника следует производить с осторожностью, ориентируясь на его способность к вегетативному размножению. Не рекомендуется высаживать виды, которые могут исказить характерный облик леса (в их числе некогда весьма популярные пузыреплодник калинолистный, дерен белый, карагана древовидная и др.). Кроме того, в проектируемом насаждении кустарник должен обладать достаточной теневыносливостью, потому что ему придётся расти под пологом древесных пород. В качестве компонента искусственного насаждения можно использовать следующие виды кустарников: бересклет европейский, боярышник кроваво-красный, бузина чёрная, жимолость обыкновенная, калина обыкновенная, кизильник цельнокрайний, лох узколистный, малина обыкновенная, ракитник русский, роза собачья, смородина золотая и др.

Этот тип культур достаточно сложен для создания, поэтому при посадке и последующих уходах необходим постоянный контроль со стороны высококвалифицированных специалистов.

Используя берёзу как составной компонент сложного культурфитоценоза, проектировщик всегда стремится ослабить межвидовую борьбу в насаждении. Практически всегда берёза доминирует, поэтому лишь убрав её из проектируемого типа культур можно раскрыть декоративные качества других пород. Схема №3 является попыткой создания устойчивого вязово-липового насаждения. В этой схеме количество хорошо развитых деревьев каждой породы будет приблизительно равно, даже без проведения рубок ухода. При таком варианте ведения хозяйства будет сформирован закрытый тип ландшафта. Если же есть необходимость формирования полуоткрытого типа пространственной структуры, требуется проведение рубок ухода, направленных на изреживание древостоя с выборкой худших деревьев.

Выводы. Результаты оценки состояния и рекреационной ценности лесных культур в зеленой зоне Москвы позволили выработать научно обоснованный подход к проектированию искусственных насаждений для урбанизированных территорий. Важнейшими условиями успешности создания насаждений рекреационного назначения являются выбор оптимального типа культур (ассортимента пород, схемы их смешения и размещения растений), а также своевременное проведение необходимых хозяйственных мероприятий – уходов и рубок.

Список литературы

1. Мелехов, И.С. Лесоводство. / И.С. Мелехов. – Изд. 2-е, доп.испр. – М. : Изд-во МГУЛ, 2002. – 320 с.: ил. 46.
2. Рысин, С.Л. Мониторинг интродуцированных древесных растений на урбанизированных территориях / С.Л. Рысин, Л.С. Плотникова, Е.М. Немова, М.Н. Гринаш // Мониторинг природного наследия: Сборник статей. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. – С. 132-168.
3. Рысин, Л.П. Типология лесных культур / Л.П. Рысин, С.Л. Рысин // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. – 1993. – №2-3. – С. 10-13.

Статья поступила в редакцию 21.07.11.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований ОБН РАН «Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга». Проект «Биоресурсы интродуцированных древесных растений на урбанизированных территориях: разработка методологических основ мониторинга состояния».

A. V. Kobyakov, S. L. Rysin**EXPERIENCE OF LONG-TERM TYPES FOREST PLANTATIONS DEVELOPMENT
FOR URBAN TERRITORIES**

An original method of artificial forest plantations quality assessment for recreational purposes is described. The research results of complex and mixed recreational plantations are presented. Three types of long-term forest plantations are recommended, brief descriptions and patterns of planting of the types of the plantations are given.

Key words: forest plantations, recreational forestry, quality assessment.

КОБЯКОВ Александр Викторович – аспирант кафедры лесных культур Московского государственного университета леса. Область научных интересов – рекреационное лесоводство, геоинформационные системы в лесном хозяйстве. Автор восьми публикаций.

E-mail: alexander.v.kobyakov@gmail.com

РЫСИН Сергей Львович – кандидат биологических наук, заведующий отделом дендрологии Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН, профессор кафедры лесных культур Московского государственного университета леса. Область научных интересов – рекреационное лесопользование и лесоводство. Автор (соавтор) более 90 публикаций, в том числе пяти монографий, 17 учебно-методических разработок.

E-mail: ser-rysin@yandex.ru

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630*372/375

*И. В. Григорьев, М. В. Цыгарова,
А. И. Жукова, Д. В. Лепилин, Г. Ю. Есин*

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРЕЛЕВОЧНОЙ СИСТЕМЫ С ВОЛОКОМ

На основании математической теории планирования эксперимента и статистической динамики обоснован план проведения экспериментальных исследований взаимодействия трелевочной системы с волоком в производственных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: *трелевочный трактор, почва, микронеровности, трелевка, планирование эксперимента, статистическая динамика.*

Введение. При трелевке древесины на трелевочную систему (трактор – пачка древесины) воздействует большое число факторов, характеризующих свойства волока, деревьев, машины, значения которых изменяются в широком диапазоне [1]. Условиям эксплуатации лесосечных машин часто свойственна значительная неопределенность. Так, например, если для автомобиля опорная поверхность вполне определенное понятие – категория дороги, то трелевочный волок – полная неопределенность, так как его свойства могут изменяться в широком диапазоне в течение рабочего дня [2].

В отличие от мобильных систем, проведение исследовательских испытаний лесосечных машин в производственных условиях вызвано не только подтверждением результатов теоретических исследований, но и получением значений коэффициентов, характеризующих свойства волока и предмета труда, теоретически которые определить невозможно. Лауреат Нобелевской премии академик П.Л. Капица писал, что даже в академической науке существуют некоторые области исследований, где пока еще невозможно получить строгие теоретические решения [3]. Следовательно, в теории движения лесосечных машин и их взаимодействии с древесиной и поверхностью движения экспериментальные исследования имеют большую актуальность, и значимость их возрастает по мере совершенствования лесных машин и оборудования [4].

Число опытов при проведении исследовательских испытаний сложных систем в производственных условиях без теоретического обоснования их числа может достигать нескольких сотен [4], что часто практически выполнить невозможно, даже при больших затратах средств, энергии и времени.

Целью данной работы является оптимизация исследовательских испытаний трелевочных тракторов в производственных условиях путем определения необходимых и

достаточных числа опытов и длительности испытаний. **Объектом** исследования являются трелевочные волокна. **Предметом** исследования является процесс взаимодействия трелевочных систем с поверхностью движения.

Опыт исследований в различных отраслях машиностроения и сельском хозяйстве показывает, что применение методов планирования эксперимента позволяет:

- получить высокую эффективность исследования;
- создать математическую модель процесса;
- планировать стратегию и тактику исследования с минимизацией числа опытов, то есть управлять экспериментом.

Из большого числа факторов, влияющих на режимы работы лесосечных машин, необходимо выбрать только те, которые отвечают определенным требованиям. Факторы не должны иметь корреляционной связи, должны быть управляемы и могут быть представлены в кодированном виде.

Длительные исследования различных модификаций трелевочных тракторов и машин первичного транспорта леса [1] показали, что параметром оптимизации может быть производительность (транспортная производительность) или скорость выполнения операций как аргумент производительности.

Исследования предшественников [1, 5, 6] показали, что, например, на транспортную производительность трелевочного трактора определяющее влияние оказывают мощность двигателя (N_c) или энергонасыщенность трактора (G_N), рейсовая нагрузка (Q) и свойства трелевочного волокна, которые оцениваются коэффициентом сопротивления качению (для трелевочной системы – коэффициент сопротивления движению) (f) и уклонами (i). В теории движения мобильных систем применяется коэффициент сопротивления дороги или волокна (ψ):

$$\psi = f \pm i. \quad (1)$$

Такая замена двух коэффициентов движения трелевочной системы одним сокращает число факторов.

Связь между натуральными и кодированными значениями факторов, действующих на современные и перспективные трелевочные тракторы производства Онежского тракторного завода (ОТЗ), интервалы их варьирования (табл. 1) выбраны из реальных изменений и условий эксплуатации в Северо-Западном регионе РФ [1].

Т а б л и ц а 1

Связь между натуральными и кодированными значениями факторов, действующих на трелевочные тракторы

Кодированное обозначение фактора	Факторы	Уровни факторов			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
x_1	Рейсовая нагрузка Q , пл. м ³	5,5	7,0	8,5	1,5
x_2	Мощность двигателя N_c , кВт	59	70	81	11
x_3	Коэффициент сопротивления волокна ψ	0,18	0,20	0,22	0,02

Влияние иных факторов (таких, как атмосферные осадки и давление, состояние джеля и др.) уменьшалось путем рандомизации опытов.

После изучения априорной информации и результата многочисленных исследований тракторов ОТЗ в полигонных и производственных условиях принята математиче-

ская модель процесса в виде интерполяционного полинома первого порядка и применено ортогональное планирование:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_3x_3 + b_{1,2}x_1x_2 + b_{1,3}x_1x_3 + b_{2,3}x_2x_3, \quad (2)$$

где y – оценочный параметр, b_{ij} – постоянные коэффициенты модели.

Известно, что помимо эксплуатационной эффективности трелевочного трактора весьма значимой компонентой общего вектора эффективности его работы является экологическая эффективность, заключающаяся в степени воздействия трактора на лесную экосистему, и, прежде всего, на лесные почвогрунты [4].

Установлено [2, 4], что на степень воздействия трелевочного трактора на лесной почвогрунт значительное влияние имеет динамика трелевочной системы, которая во многом зависит от микропрофиля волока. Понятно, что лесопромышленный трактор и лесозаготовительные машины на его базе представляют собой сложную управляемую динамическую систему, функционирующую при интенсивных случайных внешних воздействиях. Для исследования влияния этого фактора наиболее предпочтительным является применение статистической динамики – одной из областей теории вероятности, позволяющей проводить расчеты динамических систем, работающих в сложных производственных условиях [7].

Движение трелевочной системы по волоку протекает под воздействием многочисленных и разнообразных факторов, среди которых можно выделить неровности опорной поверхности, для которых исследователи применяют термин «дорожные неровности», «неровности дороги», «микропрофиль дороги» [8], «неровности поверхности поля» [9], «микронеровности волока»; встречаются и другие термины, например, «микропрофиль дороги». Следует отметить, что в исследовании мобильных систем при оценке воздействия неровности пути на систему применяются термины «внешние возмущения» [9, с. 131], «случайные возбуждения» [8, с. 127], «возмущающие воздействия» [8, с. 127]. В фундаментальных исследованиях динамики системы «дорога–шины–автомобиль–водитель» применяют термин «возмущение» [10, с. 82].

Значительный вклад в изучение динамики транспортных систем под воздействием неровностей пути внесли исследователи автомобилей, следовательно, оптимизацию исследовательских испытаний трелевочных тракторов в производственных условиях целесообразно проводить, базируясь на полученных ими результатах.

Геометрические параметры неровностей и уклонов – микропрофиля дороги – определяются обычно нивелированием и графически изображаются в виде продольного профиля дороги. Профилем дороги, а следовательно, и волока, считается сечение рельефа в направлении движения мобильной системы. Каждое сечение поверхности конкретного участка является реализацией профиля, а совокупность таких реализаций представляет собой случайную функцию или случайный процесс. Рельеф дороги представляют как совокупность параллельных сечений, достаточно близко расположенных друг от друга [10]. Рельеф дороги, выраженный в функции не расстояния, а времени, А. А. Хачатуров и др. называют возмущением, сущность которого определяется расчетной схемой динамической системы, задачами исследования. Так, например, при исследовании колесной машины её представляют в виде простейшей динамической схемы, а в качестве возмущения используют профиль дороги по одной колее или сумму профилей под левой и правой колесами [10].

Профиль дороги исследователи динамики автомобилей делят на три составляющие – микропрофиль, макропрофиль и шероховатости, что обусловливается их различным воздействием на автомобиль. Макропрофиль включает плавно изменяющиеся не-

ровности длиннее 100 м и более, не вызывающие колебаний подрессоренной массы, но оказывают воздействие на режимы работы двигателя и динамики машины. Микропрофиль состоит из неровностей длиной от 10 см до 100 м, возбуждающих колебания подрессоренной массы. Неровности менее 10 см считаются шероховатостями, которые сглаживаются шинами и не оказывают заметных влияний на колебания подрессоренной массы [10].

В ранних исследованиях предлагалось деление неровностей на четыре группы [10]:

- импульсные неровности – короткие длиной до 0,3 м, их воздействие на динамическую систему аналогично приложению импульса вертикальной силы;
- бугры и впадины длиной 0,3–6,0 м, вызывающие колебания подрессоренных и непрорессоренных масс автомобиля. Условно они делятся на короткие – 0,3–1,0 м и длинные 1,0–6,0 м;
- ухабы длиной 6,0–25,0 м вызывают низкочастотные колебания на высоких скоростях движения автомобиля;
- уклоны длиной 6,0–25,0 м не оказывают значительного влияния на колебания автомобиля.

Здесь же неровности дороги предлагается делить на три группы по высоте:

- шероховатости – неровности высотой до 1 см при длине до 0,3 м – сглаживаются шинами;
- бугры и впадины – неровности глубиной до 30 см и ухабы с крутизной до 0,03 вызывают интенсивные колебания автомобиля и оказывают влияние на плавность его хода;
- препятствия – выбоины глубиной свыше 30 см и ухабы с крутизной свыше 0,03, а также рвы, канавы, пороги и т.д., которые в основном влияют на режимы движения автомобиля.

В размещении неровностей по их длине на поверхности дороги приняты следующие закономерности:

- периодические неровности одинаковой длины и формы;
- единичные неровности с редким размещением на поверхности.

Неровности микропрофиля трелевочного волока, оказывающие возбуждающее воздействие на трелевочную систему, имеют случайную изменчивость, как по длине оси колеи, так и между колеями в каждом конкретном поперечном сечении волока. Математическое моделирование свойств неровностей дорог, пахотного поля сельскохозяйственных угодий, трелевочного волока базируется на вероятностно-статистических методах. До шестидесятых годов XX века формирование представления о свойствах опорной поверхности мобильных систем и машин различного назначения проводилось на основе дискретизации микропрофиля с определением отдельных неровностей, с описанием их размеров и формы, последовательности размещения и воздействия на динамическую систему. При этом реакция, например, колебательной системы, в динамике которой формируются изучаемые процессы, или нагруженность конструкции, представляется в виде детерминированных функций.

В последнее десятилетие для моделирования неровностей опорной поверхности (дороги, поверхности поля, волока), в зависимости от аргумента, применяется теория случайных функций или процессов. Случайной функцией считается такая функция, которая при любом значении аргумента является случайной величиной. В случайной

функции нет определенной зависимости и заранее не известно, какое значение примет функция в результате опыта. Если аргумент время, то функция считается случайным процессом.

В фундаментальных работах по исследованию динамики автомобилей и их форсированных испытаний [8] при математическом моделировании микропрофилей дорог сделаны следующие выводы:

- в пределах данного типа дороги микропрофиль и его воздействие статистически не зависят от расположения участка наблюдения и их характеристики не изменяются на достаточно длинных участках дороги;
- модели микропрофиля дорог укладываются в узкий класс случайных функций – случайных стационарных и эргодичных функций;
- эмпирические распределения ординат и экстремумов или высот неровностей описываются нормальными или близкими к нормальным законами; это позволило утверждать, что случайные функции, моделирующие микропрофиль дороги, следует считать гауссовскими.

Для получения информации о микропрофиле применяются два метода. Прямой метод измерения ординат неровностей поверхности с последующей математической обработкой для получения статистических характеристик микропрофиля – корреляционной функции и спектральной плотности. Косвенный метод сводится к измерению и регистрации колебаний какой-либо динамической системы при движении по неровностям и трансформации этих колебаний в показатели микропрофиля [10]. При получении статистических характеристик косвенным методом дисперсия микронеровностей проселочной дороги в 15 раз больше, чем при прямом методе. Столь разительное отличие значений дисперсии формирует определенное недоверие к косвенному методу. При прямом методе измерения неровности поверхности применяются различные технические решения от нивелирования до сложных систем с использованием щупов, маятников и т.д. Упрощенные методы и средства обладают низкой производительностью, а сложные не пригодны для применения в условиях лесосеки.

В опубликованных работах по измерению микропрофилей поверхности не встречено четкого определения шага квантования и длины мерного участка дороги, волока, поля.

Ведущие исследователи неровностей автомобильных дорог [8, 10] считают общепризнанным, что при длине мерного участка 0,5–1,0 км с учетом предварительных косвенных оценок можно получить информацию для построения статистических характеристик микропрофиля с интервалом квантования 5 см. Здесь же отмечается, что указанный выше объем информации для математического моделирования во многих случаях завышен. Встречается информация о получении сведений о микропрофиле дорог методом нивелирования при длине мерного участка 100–200 м [10].

Обычно выбор шага квантования связывают с верхней частотой микронеровностей или длиной волны. Рекомендуется максимальную (L_{max}) и минимальную (L_{min}) длину волн, входящих в микропрофили, принимать в зависимости от реальной скорости движения по дороге определенного типа или от уровня неровностей. Например, для дорог с короткими неровностями, такими как булыжники, кочки, корни, необходимо учитывать неровности длиной до 10 см, а для автомобилей, совершающих движение по автомагистрали, можно пренебречь неровностями длиной менее 1 м [9].

Встречаются работы по определению шага квантования Δt осциллографических записей с использованием верхней частоты спектра процесса ω_e

$$\Delta t = \frac{\pi}{r\omega_g} \quad (3)$$

Значения коэффициента r в исследованиях применяются от 1,0 до 10,0. При исследовании сельскохозяйственных агрегатов рекомендуется $r=1,0$, а время регистрации процесса $T \approx (400-600)\Delta t$. Следует отметить отсутствие связи шага квантования с параметрами движителя, прежде всего с длиной опорной поверхности гусеницы и длиной пятна контакта шины, которые могут быть 1–2 м и более. Понятно, что соотношение длин, например, впадины поверхности и пятна контакта шины или центра давления гусеницы, будет определять характер воздействия волока на колебания поддрессоренной массы трелевочной системы. Многолетние исследования эксплуатационных и нагрузочных режимов лесопромышленных тракторов в полигонных и производственных условиях позволили установить шаг квантования осциллограмм, характеризующих изменение свойств волока, $\Delta t=1,0$ с [1].

Анализ работ по исследованию микропрофиля дорог и полей сельскохозяйственных угодий позволяет утверждать, что обоснование длины мерного участка отсутствует. С нашей точки зрения, для обоснования длины мерного участка волока при получении статистических характеристик микропрофиля целесообразно применять методику, используемую при исследовании эксплуатационных режимов работы трелевочных тракторов [1], в основу которой положены значения коэффициента вариации микронеровностей волока, требуемой достоверности и допустимой ошибки. Исходя из этого, по «Номограмме достаточно больших чисел» или «Краткой таблице достаточно больших чисел» определяется необходимое количество отсчетов (изменений), а следовательно, и длина мерного участка волока. Для определения значения коэффициента вариации микронеровностей волока находится их закон распределения, т.е., как рекомендуется [8], проводится «предварительная косвенная оценка представительности информации». В СПбГЛТА разработана методика и аппаратура для исследования эксплуатационных режимов работы трелевочных тракторов, позволяющая получать «экспресс-информацию» о законах распределения сопротивления движению трактора по волоку, в которых отражаются и неровности волока [11].

Статистики законов распределения могут служить основой выбора числа отсчетов, а следовательно, и обоснования длины мерного участка волока. Для этого необходимо определить коэффициент вариации процесса, задаться вероятностью и допустимой ошибкой.

Коэффициент вариации или мера изменчивости процесса (V) определяется по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{M} \cdot 100, \quad (4)$$

где σ – среднее квадратичное отклонение; M – математическое ожидание.

При коэффициенте вариации менее 10 целесообразно использовать «Номограмму достаточно больших чисел» для величины вероятности $P=0,95$, при этом необходимо задаться желательной допустимой ошибкой ε . Опыт исследования трелевочных тракторов [1], сельскохозяйственных машин и техника статистических исчислений позволяют утверждать, что при значениях коэффициента вариации более 10 число отсчетов можно определить по Таблице достаточно больших чисел.

Для определения длины мерного участка волока, на основании результатов экспериментальных исследований [4], определены законы распределения неровностей четырех волоков, статистики которых приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Статистики закона распределения неровностей трелевочных волоков

Волок	Математическое ожидание M , см	Среднее квадратичное отклонение σ , см	Коэффициент вариации V
1	22,4	1,77	7,9
2	17,9	1,35	7,5
3	25,2	1,79	7,1
4	34,7	2,77	7,9

Для исследуемых волоков при $P=0,95$ и $\varepsilon=0,02$ число отсчетов составляет около шестидесяти. Следовательно, длина мерных участков волоков при квантовании 0,5–1,0 м будет составлять от 30 до 60 м. Следует отметить, что площадь и длина трелевочных волоков регламентируются правилами заготовки древесины и лесоводственными требованиями к технологическим процессам лесосечных работ. Согласно известным нормативным документам, длина пасечных волоков в летний период (при непромерзшем грунте) не должна превышать в лесах первой и второй групп 250 м, третьей группы – 300 м. Иногда длина волока может быть увеличена до 500 м. При рубках ухода магистральные технологические коридоры закладываются с таким расчетом, чтобы длина пасечных волоков, как правило, не превышала 250 м.

Вывод. На основании анализа работ специалистов сельского хозяйства и специалистов в области испытания автомобилей определен оптимальный шаг квантования и длина мерного участка волока при проведении исследовательских испытаний трелевочных тракторов и трелевочных систем на их базе в производственных условиях, с учетом специфики лесопромышленного производства.

Список литературы

1. Анисимов, Г. М. Условия эксплуатации и нагруженность трансмиссии трелевочного трактора: научное издание / Г. М. Анисимов. – М. : Лесная промышленность, 1975. – 168 с.
2. Григорьев, И. В. Характеристики микропрофилей трелевочных волоков, определяющие динамическое уплотнение почв / И. В. Григорьев // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр.; под общей редакцией А. Я. Панфилова. – Брянск, 2005. – Вып. 10. – С. 10-13.
3. Капица, П. Л. Эксперимент, теория, практика / П. Л. Капица. – М. : Наука, 1981. – 496 с.
4. Григорьев, И. В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных трелевочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования: научное издание / И. В. Григорьев. – СПб. : Издательство ЛТА, 2006. – 236 с.
5. Кочнев, А. М. Рабочие режимы отечественных колесных трелевочных тракторов: научное издание / А. М. Кочнев. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 520 с.
6. Кочнев, А. М. Теория движения колесных трелевочных систем: научное издание / А. М. Кочнев. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 612 с.
7. Григорьев, И. В. Методика определения характеристик микропрофиля трелевочного волока / И. В. Григорьев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – СПб. : ЛТА, 2005. – Вып. 176. – С. 77-84.
8. Яценко, Н. Н. Форсированные полигонные испытания грузовых автомобилей / Н. Н. Яценко. – М. : Машиностроение, 1984. – 328 с.
9. Лурье, А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А. Б. Лурье. – М. : Колос, 1970. – 376 с.
10. Динамика системы дорога–шина–автомобиль–водитель / А. А. Хачатуров [и др.]; под ред. А. А. Хачатурова. – М. : Машиностроение, 1976. – 535 с.
11. Патент на полезную модель Мобильный измерительный комплекс / Г. М. Анисимов, И. В. Григорьев, А. М. Кочнев, и др. – № 48052; опубл. 10.09.2005, Бюлл. № 25. – 5 с.

Статья поступила в редакцию 01.02.11.

I. V. Grigoriev, M. V. Tsygarova, A. I. Zhukova, D. V. Lepilin, G. Yu. Esin

**DESIGN OF EXPERIMENT IN THE RESEARCH OF INTERACTION OF LOGGING
SYSTEM WITH LOGWAY**

On the basis of mathematical theory of design of experiment and statistical dynamics a plan of carrying out of experimental researches of interaction of logging systems with logway under working environment exploitation is established.

Key words: logging tractor, ground, microroughness, logging, design of experiment, statistical dynamics.

ГРИГОРЬЕВ Игорь Владиславович – доктор технических наук, профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии. Область научных интересов – технология и машины лесопромышленного комплекса и лесного хозяйства. Автор 150 публикаций.

E-mail: silver73@inbox.ru

ЦЫГАРОВА Марина Валентиновна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и машин лесозаготовок и прикладной геодезии Ухтинского государственного технического университета. Область научных интересов – технология и машины лесопромышленного комплекса и лесного хозяйства. Автор 86 публикаций.

E-mail: mtsygarova@mail.ru

ЖУКОВА Антонина Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии. Область научных интересов – технология и машины лесопромышленного комплекса и лесного хозяйства. Автор 54 публикаций.

E-mail: zhukova_tonya@mail.ru

ЛЕПИЛИН Дмитрий Владимирович – аспирант кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии. Область научных интересов – технология и машины лесопромышленного комплекса и лесного хозяйства. Автор 15 публикаций.

E-mail: lepilindv@yahoo.com

ЕСИН Григорий Юрьевич – аспирант кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии. Область научных интересов – технология и машины лесопромышленного комплекса и лесного хозяйства. Автор шести публикаций.

E-mail: tlzp@inbox.ru

УДК 681.2

А. В. Егоров

ИНЕРЦИОННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГУСЕНИЧНЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН

Предложен и научно обоснован метод оценки энергетической эффективности гусеничных лесных машин. Основу метода составляют прямое измерение расхода топлива и косвенное определение эффективной мощности, развиваемой двигателем внутреннего сгорания. Мощность двигателя определяется по изменению динамики угловых ускорений коленчатого вала при разгоне гусеничной машины с грузом и без груза.

Ключевые слова: инерция, инерционная диагностика, энергоэффективность, гусеничные лесные машины.

Введение. Многие виды технологических операций в процессе заготовки и трелевки древесины осуществляются гусеничными машинами. В условиях прямой конкуренции на российском рынке между отечественными и иностранными производителями лесозаготовительной техники необходим комплексный подход к повышению эффективности лесозаготовительных машин в течение полного жизненного цикла.

Одним из возможных путей повышения эффективности отечественных гусеничных лесных машин является повышение экономической эффективности ее эксплуатации в течение полного жизненного цикла.

Существующий уровень развития методов и средств оценки эффективности преобразования энергии топлива в полезную работу движения гусеничной лесной машины не позволяет осуществлять достоверную оценку в течение полного жизненного цикла, так как средства измерения механической мощности требуют систематического технического обслуживания и калибровки. Кроме того, необходимой становится и поправка на атмосферные условия.

Разработанный автором подход позволяет перейти к решению проблемы развития методов и средств оценки эффективности преобразования энергии топлива в полезную работу движения гусеничной лесной машины, опираясь на инерционный метод и средства, основанные на косвенном методе определения механической мощности двигателя внутреннего сгорания гусеничной лесной машины.

Цель работы – разработка инерционного метода оценки энергетической эффективности гусеничных лесных машин.

Решаемые задачи:

- 1) разработка теоретических основ инерционного метода оценки энергетической эффективности гусеничных лесных машин;
- 2) разработка методики расчета приведенного к оси вращения коленчатого вала двигателя момента инерции движущихся масс гусеничной лесной машины.

Теоретические основы инерционного метода оценки энергетической эффективности гусеничной лесной машины. Решение комплексной проблемы повышения энергетической эффективности гусеничных транспортных средств напрямую

связано с решением задач разработки новых методов и средств диагностики и контроля эффективности преобразования энергии топлива в полезную работу транспортного средства в течение полного цикла. Одним из возможных вариантов здесь является разработка инерционных методов и средств диагностики и контроля эффективности преобразования энергии топлива в полезную работу транспортного средства в течение полного жизненного цикла.

Рассмотрим кинематическую схему гусеничной лесной машины.

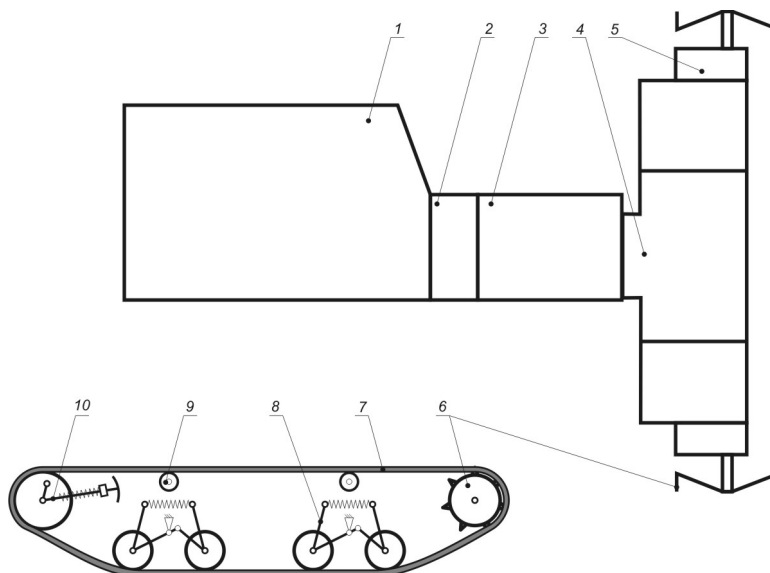


Рис.1. Кинематическая схема гусеничной машины: 1 – двигатель внутреннего сгорания (ДВС); 2 – сцепление; 3 – коробка перемены передач; 4 – задний мост с главной передачей и дифференциальным механизмом; 5 – бортовой редуктор; 6 – ведущая звездочка; 7 – гусеничная цепь; 8 – каретка; 9 – поддерживающий ролик; 10 – натяжной механизм

ДВС 1 соединен с ведущими звездочками 6 радиусами $r_{вз}$ посредством агрегатов трансмиссии и бортовых редукторов. Передаточное отношение КПП на соответствующей передаче – $k_{КПП}$, передаточное отношение главной передачи (ГП) – $k_{ГП}$, передаточное отношение дифференциала (ДИФ) – $k_{ДИФ}$, передаточное отношение бортового редуктора (БР) – $k_{БР}$.

Вес гусеничной машины массой $M_{зм}$ (с учетом массы водителя) воспринимается роликами кареток 8, имеющими радиус $r_{рк}$. Натяжение гусеничной цепи осуществляется колесом натяжного механизма 10, имеющим радиус $r_{нм}$, поддержка гусеничной цепи – поддерживающими роликами радиусом $r_{пр}$. Длина каждой гусеничной цепи – $l_{гц}$, толщина гусеничной цепи – $h_{гц}$, вес одного погонного метра – $m_{гц}$. Угол обхвата гусеничной цепью ведущей звездочки – $\alpha_{вз}$, угол обхвата гусеничной цепью колеса натяжного механизма – $\alpha_{нм}$.

Из условия неизменности кинетической энергии следует, что для системы вращающихся масс, состоящей из ДВС, сцепления, коробки перемены передач, ведущего моста с главной передачей и дифференциальным механизмом, бортовых редукторов, ведущих звездочек, роликов кареток, поддерживающих роликов, колес натяжных ме-

ханизмов цепи и гусеничных цепей, и полагая пренебрежимо малым действие трения качения, воздушного сопротивления движению, проскальзывания между гусеничными цепями и опорной поверхностью [1]:

$$\begin{aligned}
 J_{np}(\omega) \frac{\omega_{\partial\partial}^2}{2} = & J_{\partial\partial}(\omega) \frac{\omega_{\partial\partial}^2}{2} + J_{mp}(\omega) \frac{\omega_{\partial\partial}^2}{2} + J_{\partial\partial} \omega_{\partial\partial}^2 + J_{кнм} \omega_{кнм}^2 + J_{рк} \frac{\omega_{рк}^2}{2} x + J_{np} \frac{\omega_{np}^2}{2} y + \\
 & + M_{зм} \frac{V_{зм}^2}{2} + \alpha_{\partial\partial} (r_{\partial\partial} + \frac{h_{зц}}{2}) m_{зц} (r_{\partial\partial} + \frac{h_{зц}}{2})^2 \frac{\omega_{\partial\partial}^2}{2} + \\
 & + \alpha_{кнм} (r_{кнм} + \frac{h_{зц}}{2}) m_{зц} (r_{кнм} + \frac{h_{зц}}{2})^2 \frac{\omega_{кнм}^2}{2} + \\
 & + (l_{зц} - \alpha_{\partial\partial} (r_{\partial\partial} + \frac{h_{зц}}{2}) - \alpha_{нк} (r_{нк} + \frac{h_{зц}}{2})) m_{зц} V_{зм}^2,
 \end{aligned} \quad (1)$$

где $J_{np}(\omega)$, $J_{\partial\partial}(\omega)$, $J_{mp}(\omega)$, $J_{\partial\partial}$, $J_{кнм}$, $J_{рк}$, J_{np} – приведенный к оси вращения коленчатого вала двигателя момент инерции (с учетом приведения к оси вращения коленчатого вала действия сил трения двигателя, агрегатов трансмиссии), момент инерции двигающихся масс двигателя (с учетом приведения к оси вращения коленчатого вала действия сил трения), момент инерции вращающихся масс агрегатов трансмиссии (с учетом приведения к оси вращения коленчатого вала действия сил трения), момент инерции ведущей звездочки, момент инерции колеса натяжного механизма, момент инерции ролика каретки, момент инерции поддерживающего ролика; $\omega_{\partial\partial}$, $\omega_{кнм}$, $\omega_{рк}$, ω_{np} – угловые скорости ведущей звездочки, колеса натяжного механизма, ролика каретки, поддерживающего ролика; x, y – количество роликов каретки и поддерживающих роликов, установленных на гусеничную машину.

Угловые скорости колеса натяжного механизма, ролика каретки, поддерживающего ролика связаны с угловой скоростью ведущей звездочки ($\omega_{\partial\partial} = \omega_{\partial\partial} / (k_{кпп} k_{гп} k_{диф} k_{бр})$) через линейную скорость гусеничной машины $V_{зм} = \omega_{\partial\partial} r_{\partial\partial}$ и, соответственно, равны:

$$\omega_{кнм} = \omega_{\partial\partial} \frac{r_{\partial\partial}}{r_{кнм}}, \quad \omega_{рк} = \omega_{\partial\partial} \frac{r_{\partial\partial}}{r_{рк}}, \quad \omega_{np} = \omega_{\partial\partial} \frac{r_{\partial\partial}}{r_{np}}. \quad (2)$$

Искомый приведенный момент инерции системы:

$$\begin{aligned}
 J_{np}(\omega) = & J_{\partial\partial}(\omega) + J_{mp}(\omega) + \frac{2J_{\partial\partial}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} + \frac{2J_{кнм}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \frac{r_{\partial\partial}^2}{r_{кнм}^2} + \\
 & + \frac{J_{рк}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \frac{r_{\partial\partial}^2}{r_{рк}^2} x + \frac{J_{np}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \frac{r_{\partial\partial}^2}{r_{np}^2} y + M_{зм} \frac{r_{\partial\partial}^2}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} + \\
 & + \frac{\alpha_{\partial\partial} m_{зц}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} (r_{\partial\partial} + \frac{h_{зц}}{2})^3 + \frac{\alpha_{кнм} m_{зц}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \frac{r_{\partial\partial}^2}{r_{кнм}^2} (r_{кнм} + \frac{h_{зц}}{2})^3 + \\
 & + (l_{зц} - \alpha_{\partial\partial} (r_{\partial\partial} + \frac{h_{зц}}{2}) - \alpha_{нк} (r_{нк} + \frac{h_{зц}}{2})) m_{зц} \frac{r_{\partial\partial}^2}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2}.
 \end{aligned} \quad (3)$$

Очевидно, что основной весовой вклад в $J_{np}(\omega)$ делает масса гусеничной машины $M_{зм}$.

Расчетное уравнение крутящего момента при разгоне гусеничной машины с водителем при работе двигателя по внешней характеристике (акселератор нажат до упора) [2]:

$$M(\omega) = J_{np}(\omega)\varepsilon_1(\omega) =$$

$$= \left[J_{дв}(\omega) + J_{np}(\omega) + \frac{2J_{вз}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} + \frac{2J_{кнм}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \frac{r_{вз}^2}{r_{кнм}^2} + \right.$$

$$+ \frac{J_{рк}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \frac{r_{вз}^2}{r_{рк}^2} x + \frac{J_{np}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \frac{r_{вз}^2}{r_{np}^2} y +$$

$$+ M_{зм} \frac{r_{вз}^2}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} + \frac{\alpha_{вз} m_{зц}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} (r_{вз} + \frac{h_{зц}}{2})^3 + \varepsilon_1(\omega), \quad (4)$$

$$+ \frac{\alpha_{кнм} m_{зц}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \frac{r_{вз}^2}{r_{кнм}^2} (r_{кнм} + \frac{h_{зц}}{2})^3 +$$

$$\left. + (l_{зц} - \alpha_{вз} (r_{вз} + \frac{h_{зц}}{2}) - \alpha_{нк} (r_{нк} + \frac{h_{зц}}{2})) m_{зц} \frac{r_{вз}^2}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \right]$$

где $\varepsilon_1(\omega)$ – угловое ускорение коленчатого вала двигателя при разгоне гусеничной машины только с водителем.

Расчетное уравнение крутящего момента при разгоне гусеничной машины с водителем и грузом массой $M_{зр}$ при работе двигателя по внешней характеристике (акселератор нажат до упора):

$$M(\omega) = J_{np}(\omega)\varepsilon_2(\omega) =$$

$$= \left[J_{дв}(\omega) + J_{np}(\omega) + \frac{2J_{вз}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} + \frac{2J_{кнм}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \frac{r_{вз}^2}{r_{кнм}^2} + \right.$$

$$+ \frac{J_{рк}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \frac{r_{вз}^2}{r_{рк}^2} x + \frac{J_{np}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \frac{r_{вз}^2}{r_{np}^2} y +$$

$$+ (M_{зм} + M_{зр}) \frac{r_{вз}^2}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} + \frac{\alpha_{вз} m_{зц}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} (r_{вз} + \frac{h_{зц}}{2})^3 + \varepsilon_2(\omega), \quad (5)$$

$$+ \frac{\alpha_{кнм} m_{зц}}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \frac{r_{вз}^2}{r_{кнм}^2} (r_{кнм} + \frac{h_{зц}}{2})^3 +$$

$$\left. + (l_{зц} - \alpha_{вз} (r_{вз} + \frac{h_{зц}}{2}) - \alpha_{нк} (r_{нк} + \frac{h_{зц}}{2})) m_{зц} \frac{r_{вз}^2}{k_{кпп}^2 k_{гп}^2 k_{диф}^2 k_{бр}^2} \right]$$

где $\varepsilon_2(\omega)$ – угловое ускорение коленчатого вала двигателя при разгоне гусеничной машины с водителем и грузом массой $M_{зр}$.

Приравнявая (4) и (5), определяем сумму:

$$J_{\text{об}}(\omega) + J_{\text{пр}}(\omega) = M_{\text{эп}} \frac{r_{\text{вз}}^2}{k_{\text{КПП}}^2 k_{\text{ГП}}^2 k_{\text{ДИФ}}^2 k_{\text{БР}}^2} \cdot \frac{\varepsilon_2(\omega)}{\varepsilon_1(\omega) - \varepsilon_2(\omega)} -$$

$$\left\{ \begin{aligned} & \frac{2J_{\text{вз}}}{k_{\text{КПП}}^2 k_{\text{ГП}}^2 k_{\text{ДИФ}}^2 k_{\text{БР}}^2} + \frac{2J_{\text{кнм}}}{k_{\text{КПП}}^2 k_{\text{ГП}}^2 k_{\text{ДИФ}}^2 k_{\text{БР}}^2} \frac{r_{\text{вз}}^2}{r_{\text{кнм}}^2} + \\ & + \frac{J_{\text{рк}}}{k_{\text{КПП}}^2 k_{\text{ГП}}^2 k_{\text{ДИФ}}^2 k_{\text{БР}}^2} \frac{r_{\text{вз}}^2}{r_{\text{рк}}^2} x + \frac{J_{\text{пр}}}{k_{\text{КПП}}^2 k_{\text{ГП}}^2 k_{\text{ДИФ}}^2 k_{\text{БР}}^2} \frac{r_{\text{вз}}^2}{r_{\text{пр}}^2} y + \\ & + M_{\text{зм}} \frac{r_{\text{вз}}^2}{k_{\text{КПП}}^2 k_{\text{ГП}}^2 k_{\text{ДИФ}}^2 k_{\text{БР}}^2} + \frac{\alpha_{\text{вз}} m_{\text{зц}}}{k_{\text{КПП}}^2 k_{\text{ГП}}^2 k_{\text{ДИФ}}^2 k_{\text{БР}}^2} \left(r_{\text{вз}} + \frac{h_{\text{зц}}}{2} \right)^3 + \\ & + \frac{\alpha_{\text{кнм}} m_{\text{зц}}}{k_{\text{КПП}}^2 k_{\text{ГП}}^2 k_{\text{ДИФ}}^2 k_{\text{БР}}^2} \frac{r_{\text{вз}}^2}{r_{\text{кнм}}^2} \left(r_{\text{кнм}} + \frac{h_{\text{зц}}}{2} \right)^3 + \\ & + \left(l_{\text{зц}} - \alpha_{\text{вз}} \left(r_{\text{вз}} + \frac{h_{\text{зц}}}{2} \right) - \alpha_{\text{нк}} \left(r_{\text{нк}} + \frac{h_{\text{зц}}}{2} \right) \right) m_{\text{зц}} \frac{r_{\text{вз}}^2}{k_{\text{КПП}}^2 k_{\text{ГП}}^2 k_{\text{ДИФ}}^2 k_{\text{БР}}^2} \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (4), строим характеристику крутящего момента, создающего тяговое усилие на гусеницах:

$$M(\omega) = M_{\text{эп}} \frac{r_{\text{вз}}^2}{k_{\text{КПП}}^2 k_{\text{ГП}}^2 k_{\text{ДИФ}}^2 k_{\text{БР}}^2} \cdot \frac{\varepsilon_1(\omega) \varepsilon_2(\omega)}{\varepsilon_1(\omega) - \varepsilon_2(\omega)}. \quad (7)$$

Подставляя (6) в (5), строим характеристику крутящего момента, создающего тяговое усилие на гусеницах:

$$M(\omega) = M_{\text{эп}} \frac{r_{\text{вз}}^2}{k_{\text{КПП}}^2 k_{\text{ГП}}^2 k_{\text{ДИФ}}^2 k_{\text{БР}}^2} \cdot \frac{\varepsilon_1(\omega) \varepsilon_2(\omega)}{\varepsilon_1(\omega) - \varepsilon_2(\omega)}. \quad (8)$$

Полезная механическая мощность на гусеницах:

$$N(\omega) = M(\omega) \omega = M_{\text{эп}} \omega \frac{r_{\text{вз}}^2}{k_{\text{КПП}}^2 k_{\text{ГП}}^2 k_{\text{ДИФ}}^2 k_{\text{БР}}^2} \cdot \frac{\varepsilon_1(\omega) \varepsilon_2(\omega)}{\varepsilon_1(\omega) - \varepsilon_2(\omega)}. \quad (9)$$

Осуществляя параллельный замер массового расхода топлива $Q(\omega)$ при измерении $\varepsilon_1(\omega)$ или $\varepsilon_2(\omega)$ (в идеальном случае расходы должны совпадать) и зная теплотворную способность топлива q_m , определяем зависимость эффективного коэффициента полезного действия гусеничного транспортного средства:

$$\eta(\omega) = \frac{N(\omega)}{Q(\omega) q_m}. \quad (10)$$

Выводы. Инерционный метод оценки эффективности преобразования энергии топлива в полезную работу движения гусеничных лесотранспортных машин, основанный на методах теоретической механики, в частности, на методе динамики вращательного движения, может быть использован в исследовательских целях при проведении опытно-конструкторских работ над новыми и находящимися в эксплуатации машинами. На инерционный метод оценки энергетической эффективности преобразования энергии топлива в полезную работу гусеничной лесной машины подана заявка на изобретение Российской Федерации.

Список литературы

1. Неразрушающий контроль и техническая диагностика: тезисы докладов 18-й Всероссийской конференции с международным участием. Нижний Новгород. 29.09. – 03.10.2008 г. – М.: Машиностроение, 2008. – 310 с.
2. Сборник научных трудов по материалам Международной конференции Двигатель-2007, посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э.Баумана / Под редакцией Н.А. Иващенко, В.Н. Костюкова, А.П. Науменко, Л.В. Грехова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 572 с.

Статья поступила в редакцию 07.12.10.

A. V. Egorov

**INERTIAL METHOD OF TRACK-TYPE FOREST VEHICLES ENERGETIC
EFFICIENCY ASSESSMENT**

A method of track-type forest vehicles energetic efficiency assessment is offered and scientifically grounded. Fuel consumption direct measurement and indirect determination of effective power developed by the explosion engine are the basis of the method. The power of the engine is determined in measurement of the dynamics of center crankshaft angular acceleration in acceleration of a track-type vehicle with or without load.

Key words: *inertial, inertial diagnostics, energy efficiency, track-type forest vehicles.*

ЕГОРОВ Алексей Васильевич – докторант, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – энергоэффективность и энергосбережение. Автор более 60 публикаций.

E-mail: Egorov@marstu.net

УДК 674*416

**А. Н. Чемоданов, М. В. Боярский,
Рен. Х. Гайнуллин, Риш. Х. Гайнуллин**

О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЯ РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ СТРОГАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

Описана методика получения уравнений регрессии усилия резания при продольном строгании древесины на шпон. Приведены результаты сравнения точности отражения усилия резания уравнениями регрессии первого и второго порядков.

Ключевые слова: *древесина, шпон, продольное строгание, коэффициенты регрессии, уравнения регрессии, степень соответствия.*

Введение. Исследования, проводимые в лесной и деревообрабатывающей промышленности, направлены на выявление оптимальных условий протекания различных процессов и режимов работы машин и оборудования [1]. Наиболее часто в данном случае используется экспериментальный метод исследований, в результате которого получают математическое описание процесса. Решающую роль при этом играет правильный выбор вида уравнения для описания изучаемой зависимости, поскольку он влияет на степень соответствия расчетных значений экспериментальным данным [2]. В связи с этим представляет определенный теоретический и практический интерес точность определения усилия резания при продольном строгании древесины с использованием уравнений регрессии первого и второго порядков.

Целью настоящей работы является обоснование выбора вида уравнения регрессии усилия резания при продольном строгании древесины. Для этого поставлены следующие **задачи**: получить уравнения регрессии для определения усилия резания при продольном строгании древесины в зависимости от толщины срезаемого слоя, степени обжима и угла наклона лезвия ножа, определить степень соответствия расчетных значений, полученных с использованием уравнений регрессии, экспериментальным данным.

Для определения коэффициентов уравнения регрессии на экспериментальной установке получены значения усилия резания древесины вдоль волокон при различных толщинах срезаемого слоя, степени обжима и углах наклона лезвия ножа, представленные в табл. 1 [3].

На основе результатов данных табл. 1 возможно получение уравнения регрессии первого порядка по полному факторному плану 2^3 , которое примет вид

$$P_{\text{бл.лин.}} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3, \quad (1)$$

где b_0 – свободный член, b_i – линейные коэффициенты регрессии, $b_{i\text{л}}$ – коэффициенты при парных взаимодействиях, $b_{i\text{лл}}$ – коэффициент при тройном взаимодействии.

Для этого построим матрицу базисных функций (табл. 2).

Коэффициенты уравнения регрессии определяются по следующим формулам

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j, \quad (2)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} y_j, \quad (3)$$

$$b_{iu} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{uj} y_j, \quad (4)$$

$$b_{iul} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{uj} x_{lj} y_j. \quad (5)$$

Т а б л и ц а 1

Экспериментальные данные

№ опыта	Толщина шпона е, мм	Степень обжима Δ, %	Угол наклона лезвия ножа φ, град	Сила резания Р _{бл} , Н	Дисперсия σ ² (y)
1	1,0	10	60	409	6,44
2	1,0	10	75	385	8,51
3	1,0	10	90	344	7,12
4	1,0	15	60	442	8,54
5	1,0	15	75	434	6,89
6	1,0	15	90	425	7,95
7	1,0	20	60	548	9,32
8	1,0	20	75	515	8,67
9	1,0	20	90	491	8,28
10	1,5	10	60	589	11,08
11	1,5	10	75	556	10,22
12	1,5	10	90	532	8,79
13	1,5	15	60	753	14,49
14	1,5	15	75	728	13,47
15	1,5	15	90	696	12,55
16	1,5	20	60	884	17,31
17	1,5	20	75	835	16,68
18	1,5	20	90	777	15,16
19	2,0	10	60	908	18,50
20	2,0	10	75	884	18,36
21	2,0	10	90	867	17,85
22	2,0	15	60	1023	22,07
23	2,0	15	75	1015	20,23
24	2,0	15	90	1006	19,34
25	2,0	20	60	1211	26,46
26	2,0	20	75	1129	23,58
27	2,0	20	90	1039	22,19

С использованием формул (2)–(5) получены следующие значения коэффициентов: $b_0=727,125$; $b_1=279,125$; $b_2=95,125$; $b_3=-41,875$; $b_{12}=23,625$; $b_{13}=-11,375$; $b_{23}=-15,375$; $b_{123}=-17,375$.

На данном этапе необходимо провести проверку значимости полученных коэффициентов. Для этого рассчитаем t_p -отношение для наименьшего коэффициента $b_{13}=-11,375$

$$t_p = \frac{|b_i|}{\sigma(b_i)} = \frac{11,375}{0,32} = 35,55, \quad (6)$$

где $\sigma(b_i)$ – среднее квадратическое отклонение коэффициента, определяемое по выражению

$$\sigma(b_i) = \sqrt{\frac{\sigma^2(y)}{nN}} = \sqrt{\frac{14,52}{18 \cdot 8}} = 0,32, \quad (7)$$

где $\sigma^2(y)$ – дисперсия воспроизводимости, N – число опытов, n – число наблюдений в опыте.

Т а б л и ц а 2

Матрица базисных функций полного факторного плана

№ опыта	Значения формальных коэффициентов							Результаты опытов	Дисперсия $\sigma^2(y)$
	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$		
1	-	-	-	+	+	+	-	409	6,44
2	+	-	-	-	-	+	+	908	18,50
3	-	+	-	-	+	-	+	548	9,32
4	+	+	-	+	-	-	-	1211	26,46
5	-	-	+	+	-	-	+	344	7,12
6	+	-	+	-	+	-	-	867	17,85
7	-	+	+	-	-	+	-	491	8,28
8	+	+	+	+	+	+	+	1039	22,19
									$\Sigma 116,16$

В качестве дисперсии воспроизводимости берется среднее арифметическое дисперсий опытов

$$\sigma^2(y) = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_N^2}{N} = \frac{116,16}{8} = 14,52. \quad (8)$$

Расчетное значение $t_p=35,55$. Полученную величину t_p -отношения сравниваем с табличным значением $t_{\text{табл}}$ t -критерия Стьюдента. При уровне значимости $q=0,05$ и числе степеней свободы $f_y=N(n-1)=136$ табличное значение $t_{\text{табл}}=1,98 \ll t_p=35,55$. Это говорит о том, что коэффициент значим. В проверке значимости остальных коэффициентов нет необходимости, поскольку их абсолютные значения больше значения меньшего коэффициента.

Уравнение регрессии в формальном виде

$$P_{\text{бл.лин.}} = 727,125 + 279,125x_1 + 95,125x_2 - 41,875x_3 + 23,625x_1x_2 - 11,375x_1x_3 - 15,375x_2x_3 - 17,375x_1x_2x_3 \quad (9)$$

Необходимым условием является проверка принятой модели на адекватность. В данном случае число коэффициентов после проверки их на значимость равно числу опытов плана, то есть он является насыщенным. Для проверки на адекватность таких уравнений в первую очередь используют еще один опыт в центре плана, когда $x_1=x_2=x_3=0$. Тогда сумма квадратов, характеризующих адекватность модели, определится из выражения

$$\sigma_{ad} = n(P_{\text{бл.0эксп.}} - P_{\text{бл.0теор.}})^2 = 18 \cdot (728 - 727,125)^2 = 13,78, \quad (10)$$

а дисперсия адекватности

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{\sigma_{ad}}{(N+1)-p} = \frac{13,78}{1} = 13,78, \quad (11)$$

где $P_{\text{бл.0эксп.}}$ и $P_{\text{бл.0теор.}}$ – значения усилия резания в центре плана, определенные соответственно экспериментально и по выражению (9), p – число коэффициентов уравнения регрессии.

Если дисперсии адекватности $\sigma_{ад}$ и воспроизводимости $\sigma^2(y)$ однородны, то принятая математическая модель адекватна. Для этого вычисляют величину $F_{расч}$, равную

$$F_{расч} = \frac{\sigma_{ад}^2}{\sigma^2(y)} = \frac{13,78}{14,40} = 0,96, \quad (12)$$

и сравнивают ее с F-распределением табличным $F_{табл}$; если $F_{расч} < F_{табл}$, то модель адекватна.

При уровне значимости $q=0,05$ и числе степеней свободы $f_y=N(n-1)=136$ и $f_{ад}=N+1-p=1$, $F_{табл}=254 \gg F_{расч}=0,96$. Значит, проверяемая линейная модель адекватна. Перевод уравнения регрессии к натуральному виду осуществляется путем замены формальных переменных (x_1, x_2, x_3) натуральными (e, Δ, ϕ) с учетом формулы

$$x_i = \frac{X_i - \overline{X_i}}{\Delta X_i}, \quad (13)$$

где X_i – текущее значение i -го фактора, $\overline{X_i}$ – среднее значение i -го фактора, ΔX_i – уровень варьирования i -го фактора.

После соответствующих математических преобразований уравнение регрессии в натуральном виде

$$P_{бл.лин} = 401,375 + 12,75 \cdot e - 31,525 \cdot \Delta - 7,792 \cdot \phi + 43,95 \cdot e \cdot \Delta + 5,433 \cdot e \cdot \phi + 0,485 \cdot \Delta \cdot \phi - 0,46 \cdot e \cdot \Delta \cdot \phi. \quad (14)$$

Для получения уравнения регрессии второго порядка сделаем аналогичные действия. Воспользуемся наиболее распространенным планом второго порядка В-планом. Уравнение регрессии в данном случае имеет общий вид

$$P_{бл.кв.} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (15)$$

где b_0 – свободный член, b_i – линейные коэффициенты регрессии, b_{ii} – квадратичные коэффициенты регрессии, b_{iu} – коэффициенты при парных взаимодействиях, b_{iul} – коэффициент при тройном взаимодействии, T_i – табличные коэффициенты [1], y_j – результаты j -го опыта.

Для построения уравнения регрессии согласно В-плану необходимо получить коэффициенты, которые рассчитываются по выражениям

$$b_0 = T_1 \sum_{j=1}^N y_j - T_2 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 y_j, \quad (16)$$

$$b_i = T_3 \sum_{j=1}^N x_{ij} y_j, \quad (17)$$

$$b_{ii} = T_4 \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 y_j + T_5 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 y_j - T_2 \sum_{j=1}^N y_j, \quad (18)$$

$$b_{iu} = T_6 \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{uj} y_j, i \neq u, \quad (19)$$

$$b_{iul} = T_6 \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{uj} x_{lj} y_j, i \neq u \neq l. \quad (20)$$

Для определения численного значения коэффициентов построим матрицу базисных функций (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Матрица базисных функций В-плана

№ опыта	Значения формальных коэффициентов									Результаты опытов	Дисперсия $\sigma^2(y)$
	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot x_3$	$x_2 \cdot x_3$		
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	409	6,44
2	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	908	18,50
3	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	548	9,32
4	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	1211	26,46
5	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	344	7,12
6	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	867	17,85
7	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	491	8,28
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1039	22,19
9	-1	0	0	+1	0	0	0	0	0	434	6,89
10	+1	0	0	+1	0	0	0	0	0	1015	20,23
11	0	-1	0	0	+1	0	0	0	0	556	10,22
12	0	+1	0	0	+1	0	0	0	0	835	16,68
13	0	0	-1	0	0	+1	0	0	0	753	14,49
14	0	0	+1	0	0	+1	0	0	0	696	12,55
											$\Sigma 197,22$

С использованием формул (16)–(20) в среде Excel получены следующие коэффициенты уравнения регрессии:

$$b_0=708,804; b_1=281,4; b_2=104; b_3=-33,5; b_{11}=15,914; b_{22}=-13,086;$$

$$b_{33}=15,914; b_{12}=23,625; b_{13}=-11,375; b_{23}=-15,375; b_{123}=-17,375.$$

Далее необходимо провести проверку значимости полученных коэффициентов регрессии по t-критерию Стьюдента. Для этого рассчитывается t_p -отношение для наименьшего коэффициента

$$t_p = \frac{|b_i|}{\sigma(b_i)} = \frac{11,375}{0,15} = 75,83, \quad (21)$$

где $\sigma(b_i)$ – среднее квадратическое отклонение коэффициента, определяемое выражением

$$\sigma(b_i) = \sqrt{\frac{(T_4 + T_5)\sigma^2(y)}{nN}} = \sqrt{\frac{(0,5 - 0,09375)14,09}{18 \cdot 14}} = 0,15, \quad (22)$$

где $\sigma(y)$ – дисперсия воспроизводимости, определяемая по зависимости (8)

$$\sigma^2(y) = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_N^2}{N} = \frac{197,22}{14} = 14,09. \quad (23)$$

Полученное t_p -отношение сравниваем с табличным значением $t_{\text{табл}}$ t-критерия Стьюдента. При уровне значимости $q=0,05$ и числе степеней свободы $f_y=N(n-1)=238$ табличное значение $t_{\text{табл}}=1,97 \ll t_p=75,83$. Это говорит о том, что коэффициент значим. В проверке значимости остальных коэффициентов нет необходимости, поскольку их абсолютные значения больше значения меньшего коэффициента.

Уравнение регрессии в формальном виде

$$P_{\text{бл.кв.}} = 708,804 + 281,4x_1 + 104x_2 - 33,5x_3 + 15,914x_1^2 - 13,086x_2^2 + 15,914x_3^2 + 23,625x_1x_2 - 11,375x_1x_3 - 15,375x_2x_3 - 17,375x_1x_2x_3. \quad (24)$$

Проверка на адекватность модели, полученной по В-плану, производится также с использованием зависимостей (10)–(12), согласно которым $F_{расч}=0,33$. При уровне значимости $q=0,05$ и числе степеней свободы $f_y=N(n-1)=136$ и $f_{ад}=N-p=3$, $F_{табл}=8,53 >> F_{расч}=0,33$. Значит, проверяемая модель адекватна.

Перевод уравнения регрессии к натуральному виду осуществляется путем замены формальных переменных (x_1, x_2, x_3) натуральными (e, Δ, φ) с учетом формулы (13).

После соответствующих математических преобразований уравнение регрессии в натуральном виде

$$P_{бл.лин} = 111,155 + 239,58 \cdot e - 27,27 \cdot \Delta - 9,575 \cdot \varphi + 63,656 \cdot e^2 - 0,52 \cdot \Delta^2 + 0,07 \cdot \varphi^2 + 16,4 \cdot e \cdot \Delta - 0,127 \cdot e \cdot \varphi - 0,066 \cdot \Delta \cdot \varphi - 0,093 \cdot e \cdot \Delta \cdot \varphi \quad (25)$$

Для определения степени соответствия расчетных значений усилия резания, найденных по уравнениям регрессии (14) и (25), и выбора более точного сравним их с экспериментальными данными по форме табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Сопоставление результатов

№ опыта	Толщина шпона e , мм	Степень обжима Δ , %	Угол наклона лезвия ножа φ , град	Экспериментальное значение усилия резания $P_{бл}$, Н	Усилие резания, найденное по уравнению (14), Н	Расхождение с экспериментальным значением, %	Усилие резания, найденное по уравнению (25), Н	Расхождение с экспериментальным значением, %
1	1,0	10	60	409	412	0,73	374	8,56
2	1,0	10	75	385	380	1,30	350	9,09
3	1,0	10	90	344	349	1,43	346	0,58
4	1,0	15	60	442	482	8,30	479	7,72
5	1,0	15	75	434	452	3,98	440	1,36
6	1,0	15	90	425	422	0,71	432	1,62
7	1,0	20	60	548	551	0,54	559	1,97
8	1,0	20	75	515	523	1,53	507	1,55
9	1,0	20	90	491	495	0,81	487	0,81
10	1,5	10	60	589	663	11,16	623	5,46
11	1,5	10	75	556	638	12,85	588	5,44
12	1,5	10	90	532	612	13,07	584	8,90
13	1,5	15	60	753	773	2,59	756	0,40
14	1,5	15	75	728	733	0,68	705	3,16
15	1,5	15	90	695	692	0,43	686	1,29
16	1,5	20	60	884	884	0,00	863	2,38
17	1,5	20	75	835	828	0,84	796	4,67
18	1,5	20	90	777	772	0,64	761	2,06
19	2,0	10	60	908	914	0,66	905	0,33
20	2,0	10	75	884	895	1,23	861	2,60
21	2,0	10	90	867	876	1,03	849	2,08
22	2,0	15	60	1023	1065	3,94	1065	3,94
23	2,0	15	75	1015	1014	0,10	1002	1,28
24	2,0	15	90	1006	962	4,37	971	3,48
25	2,0	20	60	1211	1217	0,49	1198	1,07
26	2,0	20	75	1129	1132	0,27	1117	1,06
27	2,0	20	90	1039	1048	0,76	1067	2,62

Выводы:

- получены уравнения регрессии первого и второго порядков для определения усилия резания при различных толщинах срезаемого слоя, степенях обжима и углах наклона лезвия ножа относительно волокон древесины, которые могут быть использованы при проектировании новых конструкций оборудования для производства строганого шпона;

- в исследуемых диапазонах отмеченных параметров (табл. 4) видно, что выражение (14) дает низкую точность описания процесса (максимальные погрешности превышают 10%), а зависимость (25) дает пониженную точность (максимальные погрешности более 5, но менее 10%);

- приведенные уравнения необходимы для оптимизации энергосиловых показателей процесса продольного строгания древесины при получении шпона;

- необходимо проведение дальнейших исследований в более широких диапазонах изменения толщины шпона, степени обжима и угла наклона лезвия ножа с целью определения применимости того или иного уравнения.

Список литературы

1. Пижурин, А.А. Основы научных исследований в деревообработке: Учебник для вузов / А.А. Пижурин, А.А. Пижурин. – М.: МГУЛ, 2005. – 305 с.
2. Боярский, М.В. Планирование и организация эксперимента: Учебное пособие / М.В. Боярский, Э.А. Анисимов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 144 с.
3. Чемоданов, А.Н. Результаты исследования процесса продольного строгания древесины на шпон / А.Н. Чемоданов, Р.Х. Гайнуллин // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 1. – С. 40-45.

Статья поступила в редакцию 12.10.10.

A. N. Chemodanov, M. V. Boyarsky, Ren. Kh. Gainullin, Rish. Kh. Gainullin

**TO THE QUESTION ON ACCURACY OF WOODCUTTING FORCE DEFINITION
AT LONGITUDINAL PLANING**

The method of getting of regression equations of cutting in longitudinal slicing of the timber to get veneer sheet is described. Results of comparison of reflection accuracy of cutting force are resulted with the first and second orders regression equations.

Key words: wood, veneer sheet, longitudinal slicing, coefficients of regression, regression equations, level of compliance.

ЧЕМОДАНОВ Александр Николаевич – кандидат технических наук, профессор кафедры деревообрабатывающих производств МарГТУ. Область научных интересов – технология и оборудование лесопромышленных складов, оборудование деревообрабатывающих производств, сушильные камеры периодического действия. Автор более 120 публикаций.

E-mail: ChemodanovAN@marstu.net

БОЯРСКИЙ Михаил Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации, сертификации и товароведения МарГТУ. Область научных интересов – деревообработка, режущие инструменты. Автор более 80 публикаций.

E-mail: BoyarskijMV@marstu.net

ГАЙНУЛЛИН Ренат Харисович – аспирант кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ. Область научных интересов – технология и оборудование лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств. Автор восьми публикаций.

E-mail: GajnullinRH@marstu.net

ГАЙНУЛЛИН Рушат Харисович – студент лесопромышленного факультета МарГТУ.

E-mail: Rishat_000@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 630*232

Ю. П. Демаков, И. И. Митякова

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОЧВЕННОГО АГРОФОНА ЛЕСНОГО ПИТОМНИКА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕЯНЦЕВ

Оценена пространственная вариабельность физико-химических параметров различных слоев почвы лесного питомника и выявлены факторы, влияющие на биометрические показатели сеянцев сосны обыкновенной.

Ключевые слова: лесные питомники, почва, физико-химические параметры, пространственная вариабельность, сеянцы сосны обыкновенной, биометрика.

Введение. Характерной особенностью лесопитомнического хозяйства является интенсивное механическое и химическое воздействие на почву, что часто приводит к ее деградации и нарушению протекания в ней естественных процессов биологического круговорота. В результате почвы обедняются гумусом и минеральными элементами питания растений, ухудшаются их водно-физические, воздушные и биологические свойства, нарушается структура, что приводит к снижению продуктивности посевов и уменьшению размеров сеянцев [1]. Вопросам изучения влияния почвенно-экологических условий в лесных питомниках на биометрические показатели сеянцев посвящено много исследований [2–6], однако до сих пор они остаются недостаточно изученными и во многом спорными. Особенно слабо оценена роль в этом пространственной неоднородности почвенного агрофона в пределах полей питомника.

Цель исследования заключалась в изучении пространственной вариабельности почвенного агрофона лесного питомника и оценке ее влияния на биометрические показатели сеянцев сосны обыкновенной.

Объект и методика исследований. Объектом исследования являлся постоянный лесной питомник ГУ «Ибресинское лесничество» Управления лесного хозяйства Министерства природных ресурсов и экологии Чувашской Республики, который был организован в 1969 году на площади 11,8 га. Почва на территории питомника дерново-среднеподзолистая супесчаная на древнеаллювиальных слоистых песках, подстилаемых суглинками. Для оценки пространственной неоднородности почвенного агрофона и изучения влияния почвенно-экологических условий на биометрические показатели двухлетних сеянцев сосны обыкновенной нами была использована методика Н. А. Смир-

нова [2], согласно которой в посевном отделении лесного питомника было заложено в случайном порядке 30 учетных площадок. На каждой площадке послойно с глубины 0–10, 10–20 и 20–30 см отбирали почвенные образцы и определяли плотность сложения почвы, а также выкапывали 40–50 шт. сеянцев с подрезкой корней на глубине 25 см, у которых проводили замер многочисленных биометрических показателей. Полевые исследования почвы проводили согласно ОСТ 56-81-84 [7]. Основные физические и агрохимические свойства почв исследовали стандартными методами: гумус – по И.В. Тюрину [8], pH_{KCl} вытяжки – потенциометрически [9], подвижные формы фосфора и калия – по А.Т. Кирсанову [10], щелочно-гидролизующий азот – по методу ЦИНАО [11], плотность сложения – методом ненарушенного образца. Экспериментальный материал обработан статистически на персональном компьютере с использованием программ Excel и STATISTICA.

Результаты исследований и их обсуждение. Обработка почвы, внесение удобрений, известкование и другие агротехнические приемы направлены на создание в пахотном горизонте почвы не только оптимального водного, воздушного и питательного

Т а б л и ц а 1

Изменчивость физико-химических параметров почвы

Параметр агрофона	Значения статистических показателей*				
	M_x	min	max	S_x	V, %
Слой почвы 0-10 см					
Влажность почвы, %	12,60	5,93	18,77	3,18	25,2
Плотность сложения почвы, г/см ³	1,25	1,06	1,47	0,10	8,0
Реакция среды, pH_{KCl}	6,81	5,90	7,30	0,32	4,8
Содержание гумуса, %	1,52	0,55	2,41	0,53	34,6
Содержание обменного калия, мг/кг	242,1	100,0	560,0	118,5	48,9
Содержание подвижного фосфора, мг/кг	260,9	110,0	560,0	87,8	33,7
Содержание азота, мг/кг	56,5	28,0	86,0	15,9	28,2
Слой почвы 10-20 см					
Влажность почвы, %	14,25	6,53	21,32	3,35	23,5
Плотность сложения почвы, г/см ³	1,36	1,13	1,55	0,11	8,4
Реакция среды, pH_{KCl}	6,78	6,10	7,30	0,34	5,0
Содержание гумуса, %	1,58	0,40	3,38	0,71	44,8
Содержание обменного калия, мг/кг	286,9	55,0	1210,0	213,4	74,4
Содержание подвижного фосфора, мг/кг	264,3	122,0	488,0	82,3	31,1
Содержание азота, мг/кг	57,4	28,0	112,0	18,5	32,2
Слой почвы 20-30 см					
Влажность почвы, %	13,83	8,75	25,03	3,92	28,3
Плотность сложения почвы, г/см ³	1,44	1,22	1,60	0,10	7,1
Реакция среды, pH_{KCl}	6,81	6,20	7,20	0,27	3,9
Содержание гумуса, %	1,46	0,33	3,60	0,81	55,2
Содержание обменного калия, мг/кг	269,5	75,0	720,0	145,9	54,1
Содержание подвижного фосфора, мг/кг	242,1	82,0	528,0	101,1	41,8
Содержание азота, мг/кг	56,5	28,0	126,0	20,3	35,9

Примечание: в этой и последующих таблицах M_x – среднее арифметическое значение признака; min, max – минимальное и максимальное значения; S_x – среднее квадратическое (стандартное) отклонение, V – коэффициент вариации.

режимов, но выравнивания агрофона, однако, как анализ полученных данных, сделать это довольно сложно, так как в пределах даже одного поля питомника отмечается довольно значительная пространственная горизонтальная и вертикальная неоднородность всего комплекса физических и химических показателей почвы (табл. 1).

Особенно велика изменчивость в почве содержания обменного калия, коэффициент вариации которого изменяется от 48,9 до 74,4 %. Меньше всего изменяются значения показателей pH и плотности сложения почвы ($V = 3,9 \dots 8,4$ %). Остальные показатели варьируют в пределах от 23,5 до 55,2 %.

Наибольший вклад в общую дисперсию показателей вносит горизонтальная неоднородность агрофона, а также случайные факторы, определяющие погрешность оценки (табл. 2) и снижающие тесноту связи между значениями параметров разных слоев почвы (табл. 3). Достоверность различий между слоями почвы статистически доказана только для показателей плотности сложения и влажности. Наиболее тесно связаны между собой показатели разных слоев почвы по показателям значений pH и содержания калия ($r = 0,683 \dots 0,946$), а наименее тесно – содержания азота ($r = 0,268 \dots 0,339$). Значения коэффициента корреляции у других показателей изменяются между различными слоями от 0,409 до 0,705, что свидетельствует о большой пространственной неоднородности почвенного агрофона, обусловленной как природными, так и антропогенными факторами, наиболее значимыми из которых являются механизмы и приемы обработки почвы, а также внесения удобрений.

Т а б л и ц а 2

Результаты дисперсионного анализа пространственной изменчивости параметров почвы

Параметр почвы	Значения критерия Фишера*		Доля влияния факторов, %		
	Слои почвы	Площадки	Слоев почвы	Площадок	Погрешностей
Влажность	3,39	3,62	4,0	61,8	34,2
Плотность сложения	66,9	6,14	36,2	48,1	15,7
Реакция среды, pH _{KCl}	0,82	31,4	0,2	93,8	6,0
Содержание гумуса	0,64	6,55	0,5	76,2	23,3
Содержание калия	1,87	7,93	1,3	78,8	19,9
Содержание фосфора	1,30	5,48	1,2	72,4	26,4
Содержание азота	0,03	2,31	0,1	53,6	46,4

Примечание: для слоев почвы $F_{0,05} = 3,16$, а для площадок $F_{0,05} = 1,66$.

Т а б л и ц а 3

Изменчивость тесноты связи между параметрами разных слоев почвы

Параметр почвы	Значения коэффициента корреляции между параметрами разных слоев		
	0-10 и 10-20 см	0-10 и 20-30 см	10-20 и 20-30 см
Влажность	0,692	0,601	0,409
Плотность сложения	0,588	0,697	0,603
Реакция среды, pH _{KCl}	0,946	0,903	0,917
Содержание гумуса	0,705	0,683	0,658
Содержание калия	0,769	0,683	0,809
Содержание фосфора	0,607	0,545	0,670
Содержание азота	0,325	0,339	0,268

Высокая вариабельность значений физических и химических параметров почвы свидетельствует о необходимости использования при проведении исследований большого числа измерений. Объем выборки (N , шт.) для достижения требуемой точности учета можно без труда вычислить по известной формуле математической статистики $N = (V/p)^2$, где V – коэффициент вариации, %; p – заданная точность опыта (относительная ошибка измерения), %. Расчеты показали, что плотность сложения почвы и величину рН можно оценить с погрешностью ± 5 %, проведя измерения всего в 2–3 точках поля питомника (табл. 4). Для оценки влажности почвы с той же погрешностью требуется увеличить объем выборки уже до 22–32 учетных единиц (площадок), а содержания гумуса, азота и фосфора – до 32 – 122. Для оценки в почве калия, вариабельность содержания которого наиболее велика, и достижения 5%-й точности опыта необходимо провести измерения на 96–222 площадках, что не только трудоемко, но и вообще нереально. Для достижения 10%-й точности опыта учет необходимо провести на 24–56 площадках.

Т а б л и ц а 4

Необходимый объем выборки для оценки параметров почвы с заданной погрешностью

Параметр почвы	Необходимое число точек учета в различных слоях при заданной погрешности					
	Слой 0-10 см		Слой 10-20 см		Слой 20-30 см	
	± 5 %	± 10 %	± 5 %	± 10 %	± 5 %	± 10 %
Влажность	26	7	22	6	32	8
Плотность сложения	3	2	3	2	3	2
Реакция среды, рН _{KCl}	2	1	2	1	2	1
Содержание гумуса	48	12	80	20	122	31
Содержание калия	96	24	222	56	117	30
Содержание фосфора	46	12	39	10	70	18
Содержание азота	32	8	42	11	52	13

Исследования показали, что параметры почвы в той или иной степени сопряжены друг с другом (табл. 5). Особенно тесная зависимость отмечается между плотностью сложения почвы, её влажностью и содержанием в ней гумуса, который в принципе и влияет на изменение первых двух параметров. Теснота связи между данными параметрами в разных слоях почвы различна, что может быть обусловлено воздействием солнечного света и воздушного режима.

Зависимость плотности сложения ($ПС$, г/см³) и влажности почвы (W , %) от содержания гумуса (X , %) описывают следующие уравнения регрессии:

$$ПС_{0-10 \text{ см}} = 0,37 \cdot \exp(-0,649 \cdot X^{1,629}) + 1,13; \quad R^2 = 0,509;$$

$$ПС_{10-20 \text{ см}} = 0,37 \cdot \exp(-0,196 \cdot X^{1,904}) + 1,13; \quad R^2 = 0,519;$$

$$ПС_{20-30 \text{ см}} = 0,47 \cdot \exp(-0,270 \cdot X^{1,251}) + 1,13; \quad R^2 = 0,657;$$

$$W_{0-10 \text{ см}} = 11,83 \cdot (X - 0,3)^{0,449}; \quad R^2 = 0,712;$$

$$W_{10-20 \text{ см}} = 13,92 \cdot (X - 0,3)^{0,205}; \quad R^2 = 0,295;$$

$$W_{20-30 \text{ см}} = 12,19 \cdot X^{0,420}; \quad R^2 = 0,625.$$

Зависимость же влажности почвы от плотности её сложения и содержания гумуса описывают следующие множественные нелинейные мультипликативные уравнения:

$$W_{0-10 \text{ см}} = 30,8 \cdot X^{0,449} \cdot \exp(-1,00 \cdot \text{ПС}) + 1,7; \quad R^2 = 0,775;$$

$$W_{10-20 \text{ см}} = 70,8 \cdot (X - 0,3)^{0,449} \cdot \exp(-1,57 \cdot \text{ПС}) + 5,6; \quad R^2 = 0,420;$$

$$W_{20-30 \text{ см}} = 183,9 \cdot (X - 0,3)^{0,691} \cdot \exp(-2,71 \cdot \text{ПС}) + 9,4; \quad R^2 = 0,699.$$

Т а б л и ц а 5

Теснота взаимосвязей между физико-химическими параметрами почвы

Параметр почвы	Значения коэффициента корреляции между параметрами					
	1	2	3	4	5	6
Слой почвы 0-10 см						
Влажность	1,00					
Плотность сложения	-0,75	1,00				
Реакция среды, pH _{KCl}	-0,42	0,42	1,00			
Содержание гумуса	0,84	-0,65	-0,36	1,00		
Содержание калия	0,48	-0,41	-0,51	0,32	1,00	
Содержание фосфора	0,06	-0,03	0,28	0,11	-0,02	1,00
Содержание азота	0,60	-0,32	-0,12	0,66	0,09	0,19
Слой почвы 10-20 см						
Влажность	1,00					
Плотность сложения	-0,61	1,00				
Реакция среды, pH _{KCl}	-0,21	0,50	1,00			
Содержание гумуса	0,52	-0,73	-0,45	1,00		
Содержание калия	0,33	-0,43	-0,56	0,53	1,00	
Содержание фосфора	0,18	-0,22	0,01	0,05	0,38	1,00
Содержание азота	0,58	-0,81	-0,58	0,66	0,46	0,13
Слой почвы 20-30 см						
Влажность	1,00					
Плотность сложения	-0,78	1,00				
Реакция среды, pH _{KCl}	-0,30	0,54	1,00			
Содержание гумуса	0,80	-0,79	-0,51	1,00		
Содержание калия	0,54	-0,69	-0,73	0,52	1,00	
Содержание фосфора	0,30	-0,27	0,09	0,34	0,14	1,00
Содержание азота	0,27	-0,37	-0,32	0,46	0,31	0,26

Наиболее тесная связь между параметрами отмечается в слое почвы 0–10 см, а наименьшая – в слое 10–20 см.

Содержание обменного калия, как свидетельствуют приведенные данные, связано обратной зависимостью со значением pH, а теснота связи между параметрами увеличивается с глубиной. Между содержанием азота и гумуса отмечается средняя теснота связи ($r = 0,46 \dots 0,66$). Связь между остальными показателями довольно слабая.

В пределах одного поля питомника не остаются постоянными и биометрические показатели сеянцев сосны (табл. 6). Наиболее изменчивым параметром является масса стволика сеянцев ($V = 55,0 \%$), а наименее изменчивым – доля массы хвои ($V = 8,1 \%$). Коэффициент вариации остальных биометрических показателей изменяется в пределах от 18,4 до 38,7 %.

Между многими биометрическими параметрами сеянцев, как показали расчеты, отмечается довольно тесная зависимость (табл. 7). Особенно тесная зависимость отмечается между высотой и массой стволика ($r = 0,94$), массой хвои и общей массой сеян-

Т а б л и ц а 6

Изменчивость биометрических параметров сеянцев

Биометрический параметр	Значения статистических показателей				
	M_x	min	max	S_x	V, %
Средняя высота сеянцев, см	12,5	8,5	19,9	2,95	23,6
Диаметр шейки корня, мм	2,9	1,7	4,4	0,65	22,3
Масса хвои 100 сеянцев, г	132,7	66,9	273,2	50,6	38,1
Масса стволика 100 сеянцев, г	56,3	17,8	144,2	31,0	55,0
Масса мелких корней 100 сеянцев, г	16,9	10,9	26,8	3,7	21,7
Масса всех корней 100 сеянцев, г	52,3	26,4	95,8	16,7	32,0
Общая масса 100 сеянцев, г	244,1	125,5	505,2	94,4	38,7
Доля массы хвои, %	54,6	43,7	61,1	4,4	8,1
Доля массы стволиков, %	22,1	12,4	30,2	4,6	20,6
Доля массы мелких корней, %	7,7	3,4	13,4	2,6	34,2
Доля массы всех корней, %	22,1	14,3	29,6	4,1	18,4

цев ($r = 0,98$), массой стволиков и общей массой сеянцев ($r = 0,96$). Масса же мелких корней практически не связана с остальными параметрами двухлетних сеянцев. Зависимости между биометрическими показателями сеянцев описывают следующие уравнения регрессии:

$$\begin{aligned}
 d &= 0,35 \cdot h^{0,839}; \quad R^2 = 0,767; \\
 M_{\text{общ.}} &= 17,67 \cdot h^{0,839} \cdot d^{1,033}; \quad R^2 = 0,877; \\
 M_{\text{корн.}} &= 5,35 \cdot h^{0,640} \cdot d^{0,610}; \quad R^2 = 0,724; \\
 M_{\text{ств.}} &= 0,69 \cdot h^{1,353} \cdot d^{0,863}; \quad R^2 = 0,924; \\
 M_{\text{хвои}} &= 15,24 \cdot h^{0,359} \cdot d^{1,157}; \quad R^2 = 0,765;
 \end{aligned}$$

где d – диаметр стволика у шейки корня, мм; h – высота сеянца, см; M – масса 100 сеянцев в целом ($M_{\text{общ.}}$), а также корней, стволиков и хвои, г.

Т а б л и ц а 7

Теснота взаимосвязи между биометрическими параметрами сеянцев

Биометрический параметр	Значения коэффициента корреляции между параметрами					
	1	2	3	4	5	6
Высота сеянца	1,00					
Диаметр шейки корня	0,88	1,00				
Масса хвои	0,80	0,86	1,00			
Масса стволиков	0,94	0,91	0,90	1,00		
Масса мелких корней	0,01	0,06	0,29	0,10	1,00	
Масса всех корней	0,82	0,82	0,85	0,86	0,32	1,00
Общая масса сеянцев	0,88	0,91	0,98	0,96	0,24	0,89

Проведенные исследования показали, что степень развития сеянцев лимитируют всего два фактора: плотность сложения почвы (ПС, г/см³) и содержание в ней обменного калия (К, мг/кг). Причем влияние этих факторов проявляется в наибольшей степени в том случае, когда из трех значений, соответствующих разным слоям почвы, взято ми-

нимальное. Математические модели, отражающие эти зависимости и описывающие от 31,4 до 64,7% исходной дисперсии показателей, выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned}h &= 1,724 \cdot K^{0,750} \cdot \exp(-2,602 \cdot \text{ПС}) + 8,54; \quad R^2 = 0,647; \\M_{\text{общ.}} &= 2,15 \cdot K^{1,362} \cdot \exp(-3,362 \cdot \text{ПС}) + 184,0; \quad R^2 = 0,445; \\M_{\text{ств.}} &= 7,54 \cdot K^{0,950} \cdot \exp(-3,046 \cdot \text{ПС}) + 25,7; \quad R^2 = 0,558; \\M_{\text{хвои}} &= 0,19 \cdot K^{1,675} \cdot \exp(-3,676 \cdot \text{ПС}) + 110,9; \quad R^2 = 0,314; \\M_{\text{корн.}} &= 5,11 \cdot K^{1,076} \cdot \exp(-4,014 \cdot \text{ПС}) + 38,9; \quad R^2 = 0,559.\end{aligned}$$

Действие остальных показателей состояния почв не проявилось из-за того, что их значения соответствуют оптимуму потребности семян и не лимитируют их развитие. Показатели развития семян, как можно предполагать, во многом зависят от биологических параметров почв (численности мелких членистоногих, микоризных и патогенных грибов, микроорганизмов), степень распространения которых, несомненно, также пространственно неоднородна, как и физико-химических параметров почвы.

Выводы.

1. Агрофон лесного питомника, несмотря на технологические приемы, направленные на создание в пахотном горизонте не только оптимального водного, воздушного и питательного режимов, но и выравнивания всего комплекса физических и химических показателей почвы, довольно неоднороден как в горизонтальном, так и вертикальном планах. Особенно сильно варьирует содержание в почве обменного калия. Меньше же всего изменяются значения показателей pH и плотности сложения почвы.

2. Наибольший вклад в общую дисперсию показателей вносит горизонтальная неоднородность агрофона, а также случайные факторы, определяющие погрешность оценки и снижающие тесноту связи между значениями параметров разных слоев почвы. Достоверность различий между слоями почвы статистически значима только для показателей плотности сложения и влажности.

3. Высокая вариабельность физических и химических параметров почвы свидетельствует о необходимости использования при проведении исследований большого числа измерений. Так, для оценки влажности почвы с погрешностью $\pm 5\%$ объем выборки должен составлять 22–32 учетные единицы, а содержания гумуса, азота и фосфора – до 32 ... 122. Для оценки в почве калия с той же погрешностью необходимо провести измерения на 96...222 площадках. Плотность сложения почвы и величину pH можно оценить с погрешностью $\pm 5\%$, проведя измерения всего в 2–3 точках поля питомника.

4. Все параметры почвы в той или иной степени сопряжены друг с другом. Особенно тесная зависимость отмечается между плотностью сложения почвы, её влажностью и содержанием в ней гумуса. Теснота связи между данными параметрами в разных слоях почвы неодинакова, что может быть обусловлено воздействием солнечного света и воздушного режима.

5. Степень развития семян лимитируют всего два фактора: плотность сложения почвы и содержание в ней обменного калия. Причем влияние этих факторов проявляется в наибольшей степени в том случае, когда из трех значений, соответствующих разным слоям почвы, взято минимальное. Действие остальных показателей состояния почв не проявилось из-за того, что их значения соответствуют оптимуму потребности семян и не лимитируют их развитие.

6. Показатели развития семян, как можно предполагать, во многом зависят от биологических параметров почв (численности мелких членистоногих, микоризных и патогенных грибов, микроорганизмов), степень распространения которых, несомненно, также пространственно неоднородна, как и физико-химических параметров почвы.

Список литературы

1. Романов, Е.М. Деградация и восстановление плодородия почв лесных питомников Среднего Поволжья / Е.М. Романов, А.А. Мамаев, С.С. Гордеева // Экология и леса Поволжья: Сб. науч. статей. Вып. 2. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – С. 47-67.
2. Смирнов, Н.А. Выращивание посадочного материала для лесовосстановления / Н.А. Смирнов. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 169 с.
3. Васильев, Н.Д. Интенсификация выращивания семян сосны обыкновенной в связи с почвенными условиями в лесном Среднем Заволжье: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Н.Д. Васильев. – М.: МЛТИ, 1982. – 20 с.
4. Редько, Г.И. Лесные питомники России / Г.И.Редько, Н.А.Бабич, Н.Г.Редько. – Вологда, 1996. – 414 с.
5. Романов, Е.М. Выращивание семян древесных растений: биоэкологические и агротехнические аспекты / Е.М. Романов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. – 500 с.
6. Чурагулова, З.С. Почвы лесных питомников Южного Урала: состояние, изменения, оптимизация / З.С. Чурагулова. – М.: ТИССО, 2003. – 312 с.
7. ГОСТ 56-81-84. Полевые исследования почвы. Порядок и способы проведения работ, основные требования к результатам.
8. ГОСТ 26213-84. Охрана природы. Почвы. Определение гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО.
9. ГОСТ 26483-85. Охрана природы. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение её pH по методу ЦИНАО.
10. ГОСТ 26213-84. Охрана природы. Почвы. Определение подвижных форм фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.
11. ГОСТ 26213-84. Охрана природы. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО.

Статья поступила в редакцию 14.03.11.

Yu. P. Demakov, I. I. Mityakova

SPATIAL HETEROGENEITY OF SOIL AGRICULTURAL BACKGROUND OF FOREST NURSERY AND ITS INFLUENCE ON BIOMETRICS PARAMETERS OF SEEDLINGS

Spatial variability of physical and chemical parameters of different soil layers of forest nursery was estimated. Factors influencing on biometrics parameters of Scotch pine seedlings were identified.

Key words: forest nurseries, soil, physical and chemical parameters, spatial variability, seedlings of Scots pine, biometrics.

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты МарГТУ. Область научных интересов – экология, биогеоценология, биометрия. Автор 220 научных и учебно-методических работ, в том числе трех монографий и пяти учебных пособий.

E-mail: DemakovYP@marstu.net

МИТЯКОВА Ирина Ивановна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования МарГТУ. Область научных интересов – почвенная экология. Автор 42 публикаций.

E-mail: MityakovaII@marstu.net

УДК 630:81

Р. И. Винокурова, О. В. Лобанова

СПЕЦИФИЧНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНАХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ЕЛОВО-ПИХТОВЫХ ЛЕСОВ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

*Выявлена специфичность накопления и распределения макроэлементов в различных органах основных древесных пород елово-пихтовых насаждений Республики Марий Эл. Составлен перечень минимальных значений содержания зольных элементов в хвое текущего года деревьев *Picea abies* и *Abies sibirica*, достаточных для оптимального режима питания в средневозрастных елово-пихтовых насаждениях. Показано, что лиственные породы *Tilia cordata* и *Betula pendula* являются хорошими спутниками деревьев хвойных пород. Опад их листьев, содержащий значительное количество азота, калия и фосфора, повышает почвенное плодородие елово-пихтовых лесов.*

Ключевые слова: елово-пихтовые насаждения, древесные растения, хвойные и лиственные породы, зольные элементы, макроэлементы.

Введение. Изучение химического состава растений является составной частью познания биологического круговорота химических элементов в лесных насаждениях. Химический состав растений представляет интерес и с экологической точки зрения. Обмен веществ в растительных сообществах является предметом специальных исследований, направленных на выяснение особенностей минерального питания растений. Работы в этом направлении чрезвычайно важны для решения проблемы повышения продуктивности лесов, так как поглощение и превращение минеральных веществ является основой регулирования процессов синтеза органического вещества, а также роста и развития растений. Растения ассимилируют химические элементы в других соотношениях, по сравнению с их содержанием в почвах. Именно избирательной способностью растений поглощать те или иные элементы обусловлено накопление в почвах, и особенно в верхних их горизонтах, таких важных элементов плодородия, как N, P, K и др.

Разнообразие химического состава растений свидетельствует о сложной зависимости потребления ими отдельных элементов питания и указывает на необходимость при его изучении учета конкретных условий среды произрастания и функционального различия отдельных органов растений. Установлено, что наибольшее количество зольных элементов и азота поглощают зеленые ассимилирующие органы растений, наименьшее – проводящие одревесневшие ткани. Соотношения поглощаемых элементов, т.е. тип химизма как отдельных органов, так и растений в целом, в значительной степени обусловлены видовой принадлежностью последних.

Целью нашей работы явилось изучение содержания зольных элементов и азота в структурных частях основных видов деревьев елово-пихтовых насаждений для последующего определения параметров биологического круговорота.

Объекты и методы. Объектами исследования были выбраны средневозрастные модельные деревья ели европейской (*Picea abies*) и пихты сибирской (*Abies sibirica*), а

также деревья лиственных пород липы мелколистной (*Tilia cordata*) и березы повислой (*Betula pendula*). Исследуемые деревья отбирали в непосредственной близости к пробной площади (ПП), заложенной в естественном елово-пихтовом лесу Учебно-опытного лесхоза МарГТУ (Кортинское лесничество, квартал 31, выдел 16): состав древостоя 3Е5П2Лп+Б; класс бонитета I; относительная полнота 0,63; $A_{ср}$ 65 лет; $H_{ср}$ 20,1 м; $D_{ср}$ 20,6 см; ТЛУ D_2 ; тип леса ЕЛпК. ПП закладывали, руководствуясь методиками [1–3]. На пробной площади проводили сплошной пересчет деревьев по двухсантиметровым ступеням толщины. Полученные данные явились основой для расчетов таксационных показателей древостоя и для выбора средних модельных деревьев: по два дерева *Abies sibirica* и *Picea abies* и по одному дереву *Tilia cordata* и *Betula pendula*.

Выбранные деревья спиливали с корня, измеряли высоту начала кроны и длину ствола. Крону делили на три равные части. Из каждой трети кроны отбирали образцы хвои текущего года и прошлых лет, ветви тонкие (диаметром менее 1 см) и ветви толстые (диаметром 1 и более см). Из ствола выпиливали диски с пня (0,1 м), с высоты 1; 1,3; 3 и т.д. через 2 м. У каждого модельного дерева выкапывали боковой корень [4, 5] для проведения последующего химического анализа.

Влажность определяли по методике, рекомендуемой ГОСТ 16483.7-71 [6]. Определение зольности проводили сжиганием растительной пробы в муфельной печи при температуре не выше 450 °С в течение 6 ч. Количественное содержание кремния, алюминия, железа в образцах золы растений и азота в абсолютно сухих образцах определяли фотометрическим методом; содержание магния, калия, кальция, натрия – методом фотометрии пламени [7].

Обработку данных проводили с помощью пакета стандартных программ (Excel, Statistica). Для проверки значимости различий между элементарным составом структурных частей модельных деревьев был применен однофакторный дисперсионный анализ. О достоверности оценок судили по значению критерия Фишера (F) при доверительной вероятности 95 %.

Результаты и их обсуждение. Анализ полученных результатов показал статистическую достоверность не существенности различий макроэлементного состава структурных частей между модельными хвойными деревьями одного вида, поэтому в табл. 1 приведены средние значения содержания химических элементов в органах хвойных деревьев.

По суммарному содержанию элементов питания в органической массе *Picea abies* первое место занимает хвоя текущего года и прошлых лет (табл. 1). За ней в порядке постепенного обеднения ими следуют тонкие ветви, кора ствола, толстые ветви, корни и древесина ствола. Во всех частях фитомассы *Picea abies* преобладающими элементами являются азот, кальций и калий. В хвое прошлых лет в значительном количестве содержится также кремний. В хвое текущего года количество азота составляет 1,50 – 1,62 % от массы абсолютно сухого вещества, что указывает на достаточно благоприятные условия произрастания этой породы согласно данным Н.И. Казамирова [8] и [9–11]. Определены предельные (минимальные) значения содержания зольных элементов в хвое текущего года деревьев *Picea abies* (N – 1,50; Ca – 0,47; K – 0,85; P – 0,15; Mg – 0,13; Si – 0,05; Al – 0,04; Mn – 0,02; Fe – 0,004; Na – 0,001 % абс. сух.).

Среднее содержание азота и зольных элементов в ветвях *Picea abies* примерно в 1,5 – 2,5 раза меньше, чем в хвое. Наблюдается значительное колебание их количества в зависимости от толщины ветвей. Содержание зольных элементов в тонких ветвях примерно в 2,2 раза больше, чем в толстых, и составляет 0,81 и 0,36 % соответственно, количество калия в 1,6 раза больше; магния – в 1,5 раза; кальция – в 1,2 раза; марганца –

Т а б л и ц а 1

**Среднее содержание химических элементов в органах хвойных деревьев
(% абс. сух.)**

Элемент	Хвоя тек. года	Хвоя прош. лет	Ветви тон- кие	Ветви тол- стые	Древесина	Кора	Корни
<i>Picea abies</i>							
N	1,54	0,96	0,81	0,36	0,23	0,67	0,30
Ca	0,49	0,89	0,71	0,58	0,15	0,42	0,21
K	0,87	0,71	0,28	0,17	0,040	0,096	0,13
Si	0,051	0,37	0,049	0,014	0,006	0,018	0,010
Mg	0,14	0,11	0,077	0,053	0,034	0,062	0,037
P	0,16	0,065	0,078	0,031	0,013	0,018	0,029
Mn	0,023	0,052	0,034	0,016	0,007	0,011	0,008
Al	0,049	0,042	0,024	0,012	0,003	0,004	0,011
Fe	0,005	0,004	0,016	0,008	0,004	0,013	0,004
Na	0,001	0,001	0,012	0,007	0,001	0,002	0,003
<i>Abies sibirica</i>							
N	1,64	1,07	0,88	0,39	0,21	0,73	0,37
Ca	0,45	0,88	0,62	0,56	0,18	0,42	0,28
K	0,70	0,58	0,11	0,077	0,066	0,24	0,18
Si	0,09	0,36	0,048	0,018	0,009	0,018	0,011
Mg	0,12	0,14	0,074	0,035	0,015	0,050	0,046
P	0,088	0,087	0,077	0,047	0,013	0,015	0,030
Mn	0,024	0,057	0,035	0,021	0,008	0,016	0,016
Al	0,044	0,042	0,016	0,020	0,003	0,002	0,010
Fe	0,008	0,013	0,021	0,005	0,003	0,002	0,011
Na	0,002	0,001	0,005	0,007	0,002	0,002	0,003

в 2,1 раза; железа – в 2 раза; алюминия – в 2 раза и натрия – в 1,8 раза. Количество фосфора в тонких ветвях в 2,5 раза больше, чем в толстых, кремния – в 3,4 раза. Содержание азота и зольных элементов в тонких ветвях *Picea abies* понижается в ряду: N > Ca > K > P > Mg > Si > Mn > Al > Fe > Na, в толстых – Ca > N > K > Mg > P > Mn > Si > Al > Fe > Na.

Древесина ствола отличается наиболее низкой зольностью (0,49 %) по сравнению с другими частями фитомассы деревьев *Picea abies*. Содержание азота и зольных элементов в древесине ствола *Picea abies* уменьшается в ряду: N > Ca > K > Mg > P > Mn > Si > Fe > Al > Na. Содержание элементов питания в органической массе стволов колеблется в больших пределах и может быть связано с условиями местопроизрастания [12,13]. Более наглядны в этом отношении данные по содержанию элементов питания в коре стволов *Picea abies* из разных климатических районов. Содержание азота составляет, например, в южной Карелии [8] – 0,43–0,76 %; в Архангельской области [14,15] – 0,42–0,87 %; в Московской области [16] – 0,12–0,36 %. Содержание калия равно 0,18 – 0,22 ; 0,14 – 0,29 и 0,08 – 0,25 % соответственно. Приведенные данные свидетельствуют о важности учета региональных условий произрастания *Picea abies* при оценке параметров биологического круговорота в лесных насаждениях и решения проблем экологического мониторинга.

Сумма зольных элементов в коре в 2,7 раза выше, чем в древесине, и составляет 1,32 %. Общее содержание азота и зольных элементов в корнях *Picea abies* сравнительно небольшое – 0,74 %. Значительная доля из этого количества, как и в вышерассмотренных структурных частях *Picea abies*, принадлежит азоту – 0,30 %.

Наиболее богатая по содержанию зольных элементов часть дерева *Abies sibirica* – хвоя прошлых лет, но азота в ней содержится в 1,5 раза меньше, чем в хвое текущего года (табл. 1). Массовая доля фосфора и алюминия *Abies sibirica* с возрастом хвои не меняется. Содержание остальных элементов в однолетней хвое уменьшается: кальция – в 2 раза, кремния – в 3,7 раза, марганца – в 2,4 раза, железа – в 1,6 раза, магния – в 1,2 раза, натрия – в 2 раза. Исключение составляет калий: его содержание в хвое текущего года увеличивается по сравнению с хвоей прошлых лет.

Пределные (минимальные) значения содержания азота и других зольных элементов (% абс. сух.) в однолетней хвое, произрастающей в насаждениях с оптимальным режимом питания, следующие: N – 1,48; Ca – 0,41; K – 0,41; P – 0,08; Mg – 0,10; Si – 0,09; Al – 0,04; Fe – 0,008; Na – 0,002; Mn – 0,02 %. Как было показано выше, индикатором нормального развития является содержание элементов-органогенов в хвое текущего года *Picea abies*. Можно предположить, что и хвоя текущего года *Abies sibirica* выполняет индикаторную роль.

Далее по суммарному содержанию азота и зольных элементов следуют ветви. Содержание всех элементов, за исключением алюминия и натрия, в тонких ветвях выше, чем в толстых. Порядок расположения элементов по убыванию их содержания в тонких ветвях следующий: N > Ca > K > P > Mg > Si > Mn > Fe > Al > Na. В толстых ветвях ряд химических элементов иной: азот переходит на второе место, уступая кальцию, далее идут калий, магний, фосфор, марганец, кремний, алюминий, железо и натрий. В коре преобладающими элементами являются азот – 0,73, кальций – 0,42 и калий – 0,24 %. В целом, сумма азота и зольных элементов в коре *Abies sibirica* составляет 1,50 %.

Содержание азота и калия в древесине *Abies sibirica* примерно одинаково и составляет 0,20 и 0,17 % соответственно. Содержание остальных элементов незначительно и в сумме составляет лишь 0,11 %. Древесина ствола содержит в три раза меньшее количество макроэлементов, чем кора. Корни по суммарному содержанию химических элементов не отличаются от толстых ветвей и характеризуются следующим порядком расположения элементов: N > Ca > K > Mg > P > Mn > Si > Fe > Al > Na.

Порядок распределения структурных частей фитомассы деревьев *Abies sibirica* по суммарному содержанию в них элементов питания выглядит следующим образом: хвоя прошлых лет > однолетняя хвоя > тонкие ветви > кора ствола > толстые ветви > корни > древесина ствола. В литературе мало данных о химическом составе структурных частей *Abies sibirica* [17], а в рассматриваемом аспекте они отсутствуют.

Самая богатая химическими элементами часть *Tilia cordata* – листва, содержащая значительное количество азота, кальция, калия, фосфора, магния, кремния и алюминия (табл. 2).

Положение листьев в кроне (верхняя, средняя или нижняя ее часть) мало влияет на содержание в ней зольных элементов и азота, что согласуется с данными [16]. По данным [17], в высокопродуктивных насаждениях I и II классов бонитета, растущих на плодородных темно-серых и дерново-подзолистых супесчаных почвах, содержание азота в листьях *Tilia cordata* составляет 2,47 – 2,70 % от массы абсолютно сухого вещества листвы. Среднее содержание азота в листьях *Tilia cordata*, произрастающей в елово-пихтовых лесах Республики Марий Эл, составляет 2,50 %.

По содержанию кальция *Tilia cordata* можно отнести к явным кальцефилам, ее листья содержат в среднем 1,11 % кальция. Листья *Tilia cordata* содержат значительное количество калия – 1,00; фосфора – 0,19; магния – 0,16; кремния – 0,13 и алюминия – 0,11 %.

Значительное количество химических элементов содержится в тонких ветвях

Т а б л и ц а 2

**Среднее содержание зольных элементов и азота в структурных частях
лиственных деревьев (% абс. сух.)**

Элемент	Листья	Ветви тонкие	Ветви толстые	Древесина	Кора	Корни
<i>Tilia cordata</i>						
N	2,50	0,75	0,69	0,06	0,81	0,90
Ca	1,11	0,51	0,77	0,069	0,59	0,82
K	1,00	0,46	0,27	0,071	0,27	0,41
Si	0,14	0,076	0,014	0,012	0,18	0,083
Mg	0,16	0,10	0,086	0,042	0,08	0,10
P	0,19	0,15	0,092	0,014	0,14	0,074
Mn	0,056	0,021	0,017	0,003	0,015	0,005
Al	0,11	0,051	0,021	0,027	0,061	0,19
Fe	0,014	0,006	0,003	0,002	0,012	0,021
Na	0,006	0,004	0,002	0,002	0,003	0,003
<i>Betula pendula</i>						
N	2,36	0,91	0,42	0,24	0,46	0,75
Ca	0,68	0,53	0,33	0,045	0,11	0,27
K	0,60	0,26	0,13	0,041	0,096	0,18
Si	0,069	0,018	0,011	0,004	0,014	0,034
Mg	0,44	0,19	0,088	0,039	0,073	0,046
P	0,20	0,075	0,048	0,015	0,038	0,108
Mn	0,10	0,051	0,035	0,002	0,036	0,026
Al	0,14	0,012	0,008	0,013	0,020	0,148
Fe	0,007	0,005	0,002	0,002	0,002	0,022
Na	0,009	0,01	0,006	0,001	0,005	0,004

(2,12 %). Общее количество этих элементов в толстых ветвях в 1,8 раза меньше. Суммарное содержание химических элементов в древесине ствола *Tilia cordata* составляет лишь 0,30 %. Из этого количества на калий приходится 0,070, кальций – 0,069, азот – 0,060 и магний – 0,042 %. В коре ствола сумма рассмотренных химических элементов в 7,5 раза больше. В корнях деревьев *Tilia cordata* содержится значительное количество азота – 0,89; кальция – 0,81; калия – 0,41; алюминия – 0,19 и магния – 0,10 %.

Порядок распределения органов *Tilia cordata* по уменьшению суммарного содержания макроэлементов выглядит следующим образом: листья > ветви тонкие > корни > кора > ветви толстые > древесина. *Tilia cordata* может быть хорошей спутницей деревьев хвойных пород *Picea abies* и *Abies sibirica*. Опад ее листьев, содержащий значительное количество азота, калия и фосфора, повышает почвенное плодородие елово-пихтовых лесов и поэтому должен благоприятно сказаться на режиме питания *Picea abies* и *Abies sibirica*.

Для листьев *Betula pendula* елово-пихтовых насаждений (табл. 2) характерно накопление относительно большого количества азота – 2,36; кальция – 0,67; калия – 0,60; магния – 0,44; фосфора – 0,19 %. *Betula pendula*, как и *Tilia cordata*, выступает как явный кальциефил. Отличительной особенностью химического состава листьев *Betula pendula* является также низкое содержание кремния – 0,069 %.

Содержание химических элементов в тонких ветвях в 1,6–2,6 раза больше, чем в толстых. Наименьшим содержанием азота и зольных элементов характеризуется древесина ствола, суммарное содержание элементов в которой составляет 0,39 % от абсолютно сухой массы древесины. Корни *Betula pendula* отличаются сравнительно высокой зольностью – 1,58 % и значительным содержанием азота – 0,74 %.

Betula pendula, произрастающая в елово-пихтовом лесу Республики Марий Эл, во многом сходна по химическому составу с деревьями этой породы других почвенно-климатических условий. Содержание азота в ее листьях, например, в условиях Великолукской [8], Вологодской [18] и Московской [3] областей, а также в условиях Карелии [16] колеблется в пределах 2,09–2,37; калия – 0,73–1,26; фосфора – 0,15–0,29 и кальция – 0,61–1,22 %.

Последовательность расположения органов *Betula pendula* в порядке уменьшения суммарного содержания макроэлементов следующая: листья > ветви тонкие > корни > ветви толстые > кора > древесина. *Betula pendula* повышает содержание элементов в почве, что благоприятно сказывается на режиме питания хвойных деревьев.

При сравнении содержания химических элементов в различных фракциях фитомассы лиственных пород с хвойными породами следует, что наибольшим содержанием химических элементов отличается листва (хвоя). Максимум содержания азота и зольных элементов приходится на листья *Tilia cordata*, далее идут листья *Betula pendula*, затем хвоя *Picea abies* и *Abies sibirica*. Отличительной особенностью хвойных деревьев является значительное содержание кремния в хвое прошлых лет, в среднем, в 3 – 5 раз превышающее его содержание в листьях *Tilia cordata* и *Betula pendula*. Доля основных элементов питания (N, P, K, Mg, Ca) наибольшая в хвое текущего года и прошлых лет, тогда как доля натрия в хвое минимальная. Кремний накапливается в хвое прошлых лет. У всех рассматриваемых пород деревьев содержание химических элементов в ветвях примерно одинаково, причем их сумма в тонких ветвях выше, по сравнению с толстыми. Порядок расположения хвойных и лиственных пород деревьев по уменьшению суммарного содержания азота и зольных элементов в ветвях выглядит следующим образом: *Tilia cordata* > *Picea abies* > *Betula pendula* > *Abies sibirica*.

Количество макроэлементов в коре и древесине далеко не одинаково. Кора ствола *Tilia cordata* отличается самым большим содержанием рассмотренных элементов, за исключением железа, натрия и марганца. Железо и натрий в большей степени накапливаются в коре *Picea abies*, максимальное количество марганца характерно для коры *Abies sibirica*.

У всех рассмотренных пород деревьев суммарное содержание азота и зольных элементов в коре в 2–7 раз больше, чем в древесине. Поэтому, несмотря на то, что кора составляет сравнительно небольшую долю массы дерева и ствола, она обладает значительным запасом элементов питания. В корнях лиственных деревьев преобладающими элементами являются азот, калий, фосфор, магний, кремний, алюминий и железо.

Выводы.

1. Выявлена специфичность суммарного содержания макроэлементов в органах изученных пород деревьев:

хвоя (лист): *Tilia cordata* > *Betula pendula* > *Picea abies* > *Abies sibirica*;

ветви: *Tilia cordata* > *Picea abies* > *Betula pendula* > *Abies sibirica*;

древесина: *Abies sibirica* > *Picea abies* > *Betula pendula* > *Tilia cordata*;

кора: *Tilia cordata* > *Abies sibirica* > *Picea abies* > *Betula pendula*;

корни: *Tilia cordata* > *Betula pendula* > *Abies sibirica* > *Picea abies*.

2. Органы отдельных пород деревьев по содержанию макроэлементов располагаются в ряды:

Picea abies: хвоя > ветви > кора > корни > древесина;

Abies sibirica: хвоя > ветви > кора > корни > древесина;

Betula pendula: листья > корни > кора > ветви > древесина;

Tilia cordata: листья > ветви > корни > кора > древесина.

3. Опад листьев *Tilia cordata* и *Betula pendula*, богатый азотом, калием и фосфором, повышает содержание этих элементов в почве и определяет благоприятный режим питания хвойных деревьев *Picea abies* и *Abies sibirica*.

4. Составлен перечень предельных (минимальных) значений содержания зольных элементов в хвое текущего года деревьев *Picea abies* (N – 1,50; Ca – 0,47; K – 0,85; P – 0,15; Mg – 0,13; Si – 0,05; Al – 0,04; Mn – 0,02; Fe – 0,004; Na – 0,001 % абс. сух.) и *Abies sibirica* (N – 1,48; Ca – 0,41; K – 0,41; P – 0,08; Mg – 0,10; Si – 0,09; Al – 0,04; Mn – 0,02; Fe – 0,008; Na – 0,002 % абс. сух.), достаточных для оптимального режима питания в средневозрастных елово-пихтовых насаждениях.

5. Показана статистическая достоверность не существенности различий макроэлементного состава между модельными хвойными деревьями одного вида. Последнее имеет большое практическое значение, так как позволяет значительно упростить биогеохимические исследования и для оценки макроэлементного состава достаточно использовать одно среднее модельное дерево на пробной площади, которое будет отражать среднее содержание макроэлементов всех деревьев данного вида, произрастающих в сходных экологических условиях.

Список литературы

1. Родин, Л.Е. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах / Л.Е. Родин, Н.П. Ремезов, Н.И. Базилевич. – Л.: Наука, 1968. – 143 с.
2. Гришина, Л.А. Учет биомассы и химический анализ растений / Л.А. Гришина, Е.М. Самойлова. – М.: МГУ, 1971. – 99 с.
3. Ремезов, Н.П. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР / Н.П. Ремезов, Л.Н. Быкова, К.М. Смирнова. – М.: Изд-во МГУ, 1959. – 284 с.
4. А.с. 435788 СССР. Способ подготовки растительных проб к анализу / Д.П. Митрофанов. – Бюл., 1974. – № 26.
5. Программа и методика биогеоценотических исследований. – М.: Наука, 1966. – 334 с.
6. ГОСТ 16483.7 – 71. Древесина. Методы определения влажности // Древесина. Отбор проб и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – С. 4-17.
7. Методы биогеохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. – Л.: Агропромиздат, Ленингр.отд-ние, 1987. – 450 с.
8. Казимиров, Н.И. Биологический круговорот в ельниках Карелии / Н.И. Казимиров, Р.И. Морозова. – Л.: Наука, 1973. – 174 с.
9. Силкина, О.В. Экологофизиологическое состояние хвои деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* в сезонной динамике / О.В. Силкина, Р.И. Винокурова, А.И. Винокуров, В.З. Латыпова // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. – 2006. – № 2. – С. 62-66.
10. Силкина, О.В. Фитопродуктивность и особенности роста и развития хвои деревьев пихты сибирской (*Abies sibirica*) и ели европейской (*Picea abies*) / О.В. Силкина, Р.И. Винокурова, А.И. Винокуров // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием. – Йошкар-Ола, 2010. – С. 267-270.
11. Винокурова, Р.И. Ростовые характеристики хвои деревьев пихты сибирской (*Abies sibirica*) и ели европейской (*Picea abies*) / О.В. Силкина, Р.И. Винокурова // Вестник МПГУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2008. – № 2. – С.40-50.
12. Małek, S. Content of macronutrients in needles and litterfall in Norway spruce stands of different age in the Potok Dupniafski catchment, the Silesian Beskid / S. Małek, Ł. Grabowski // Folia Forestalia Polonica, series A/ – 2010. – Vol. 52 (2). – P. 67-75.
13. Małek, S. Stability of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stands in the Beskid Śląski and Beskid Żywiecki Mts. from the aspect of their nutrition status / J. Barszcz, S. Małek // Journal of forest science. – 2008(2). – Vol. 54. – P. 41-48.

14. Марченко, А.И. Минеральный обмен в еловых лесах северной тайги и лесотундры Архангельской области / А.И. Марченко, Е.И. Карлов // Почвоведение. — 1962. — № 7. — С.52 - 67.
15. Руднева, Е.Н. Круговорот зольных элементов и азота в ельнике - зеленомошнике Северной тайги бассейна р. Мезень / Е.Н. Руднева, В.Д. Тонконогов, К.Д. Дорогова // Почвоведение. — 1966. — № 3. — С. 14 - 26.
16. Семенова, В.Г. Влияние рубок главного пользования на почвы и круговорот веществ в лесу / В.Г. Семенова. — М.: Лесн. промышленность, 1975. — 184 с.
17. Гирс, Г.И. Содержание азота и зольных элементов в органах древесных растений России / Г.И. Гирс. — Красноярск, 1998. — 76 с. — Препринт.
18. Паршевников, А.Л. Круговорот азота и зольных элементов в связи со сменой пород в лесах средней тайги / А.Л. Паршевников // Тр. / Ин-т леса АН СССР. — 1962. — Т. 52. — С. 196 - 210.

Статья поступила в редакцию 24.06.11.

Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. в рамках гранта № НК-545П (государственный контракт П738 от 20.05.2010).

R. I. Vinokurova, O. V. Lobanova

SPECIFICITY OF DISTRIBUTION OF MACROCELLS IN PARTS OF WOOD PLANTS OF SPRUCE-FIR FORESTS IN THE REPUBLIC OF MARI EL

Specificity of accumulation and distribution of macroelements in various parts of the basic wood species of spruce and fir plantations in Mari El Republic is revealed. The list of the minimum values of the ash elements content in the needles of the current year of Picea abies and Abies sibirica trees is made, the values are sufficient for optimum nutrition in the middle-aged spruce and fir plantations. It is shown that such hardwoods as Tilia cordata and Betula pendula are good companions of the conifers. The leaf fall of the trees which contains a significant amount of nitrogen, potassium and phosphorus improves soil fertility of the spruce and fir forests.

Key words: spruce and fir plantations, woody plants, conifers and hardwoods, ash elements, macroelements.

ВИНОКУРОВА Раиса Ибрагимовна — доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой химии МарГТУ. Область научных интересов — биогеохимия, биологический круговорот веществ, экология и физиология древесных растений. Автор более 150 публикаций, в том числе пяти монографий.

E-mail: VinokurovaRI@marstu.net

ЛОБАНОВА Ольга Васильевна — кандидат биологических наук, доцент кафедры химии МарГТУ. Область научных интересов — биогеохимия, биологический круговорот веществ, экология и физиология древесных растений. Автор более 20 публикаций.

E-mail: LobanovaOV@marstu.net

УДК 630.378, 539.3

*А. Г. Поздеев, С. Ф. Киркин,
С. Я. Алибеков, Ю. А. Кузнецова*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ЧАСТЕЙ НЕФТЕПРОВОДОВ НА ТЕРРИТОРИЯХ С ИНТЕНСИВНЫМ КАРСТООБРАЗОВАНИЕМ

Изложены направления инженерного обследования линейной части нефтепроводов, расположенных в областях карстообразования, опасных для их устойчивой эксплуатации.

Ключевые слова: магистральные нефтепроводы, карстовые процессы.

Введение. Действующие методические рекомендации по инженерно-геологическому обследованию магистральных нефтепроводов относят карстовые процессы к неосновным источникам возникновения аварийных ситуаций на линейных сооружениях нефтепроводов [1].

На участке нефтепровода «Сургут – Полоцк», проходящем по территории Республики Марий Эл, карстообразование происходит особенно интенсивно. Это требует уточнения действующей методики обследования участков нефтепроводов в районах концентрации карстующихся пород. В связи с этим предлагается интегральный способ оценки вероятности разрушения линейных инженерных сооружений магистральных нефтепроводов при неблагоприятном сочетании следующих природных факторов:

- трещиноватости растворимых горных пород;
- фильтрационного движения подземных вод;
- растворяющей способности воды.

Цель работы – обоснование оценки вероятности разрушения линейных частей магистральных нефтепроводов, проложенных в районах интенсивного карстообразования.

Объектом исследования является инженерно-геологическая оценка состояния магистральных нефтепроводов. Предметом исследования являются модели влияния процесса карстообразования на устойчивость линейных частей нефтепроводов.

Решаемые задачи:

- 1) усовершенствовать модель анализа карстовых явлений в зависимости от основных влияющих факторов;
- 2) разработать методику расчета эколого-экономического риска эксплуатации нефтепроводов;
- 3) произвести технико-экономическое обоснование поиска участков интенсивного карстообразования в районах прокладки линейных частей нефтепроводов.

Методы исследования. Для решения сформулированных задач исследования использованы элементы фрактальной геометрии, теории мультипликативных функций и риск-анализа.

Решение задачи. Карстовые явления представляют собой процессы растворения и размыва трещиноватых горных пород движущимися подземными и поверхностными водами и связанное с ними образование пустот на поверхности земли, а также полостей

под ее поверхность.

Основными условиями развития карста являются следующие факторы:

- трещиноватость растворимых горных пород, обеспечивающая их водопроницаемость, характерная для известняков, доломитов, мела, гипса и галита;
- фильтрационное движение подземных вод по трещинам горных пород;
- растворяющая способность воды, усиливаемая влиянием примесей различной химической природы и температуры.

Динамика факторов развития карстовых явлений требует мониторинга топографии, геологии, гидрогеологии и геохимии районов расположения линейных сооружений нефтепроводов.

Оценку развития карстовых явлений в зависимости от основных влияющих факторов, учитывающих трещиноватость и растворимость горных пород, а также интенсивность фильтрационного движения грунтовых вод, можно выполнить путем построения мультипликативных функций [2].

Определим возможность образования карста в виде карстового потенциала P , который запишем в виде

$$P = T^t \cdot R^r \cdot F^f, \quad (1)$$

где T , t – трещиноватость горных пород, оцениваемая по их фрактальной размерности, и степень ее влияния на карстообразование; R , r – растворимость горных пород, определяемая по относительной скорости растворения породы в сравнении со скоростью растворения базового минерала в лабораторных условиях, и степень ее влияния на карстообразование; F , f – интенсивность фильтрации, определяемая массовым расходом через трещиноватую поверхность и степень ее влияния на карстообразование.

Трещиноватость горных пород определим по фрактальной размерности [3]

$$dH = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln(1/\varepsilon)}, \quad (2)$$

где $N(\varepsilon)$ – минимальное число трещиноватых элементов, покрывающих единицу объема породы и имеющих характерный размер ε .

При использовании фрактальной геометрии для описания пористых материалов возможно применение моделей «фрактал – поровое пространство» и «фрактал – система трещин в пористом теле». Первая из моделей может быть использована для материалов с близкой к нулю пористостью, а вторая – для минералов с пористостью, близкой к единице.

Методы определения фрактальной размерности и, следовательно, трещиноватости породы сводятся к прямым и косвенным методам.

Прямые методы связаны с экстремальным изменением геометрического строения породы. Косвенные методы связаны с исследованием процессов, протекающих в объекте (диффузии, фильтрации, электропроводности), когда из решения модельных уравнений процесса путем сравнения с экспериментом находятся параметры геометрического строения трещиноватости породы.

Прямым методом является, например, анализ рассеяния породой сканирующего электромагнитного излучения. Амплитуда рассеяния A волны длиной L с вектором $\bar{k}$ на трещиноватой породе при масштабах, много меньших L , не зависит от деталей строения. Амплитуда рассеяния излучения породой совпадает с амплитудой рассеяния на гладком модельном объекте $S(L)$ при масштабах, меньших L

$$A(\bar{k}, S) = A(\bar{k}, S(L)). \quad (3)$$

Дифференциальное сечение рассеяния в направлении вектора $\bar{k}$ зависит от частоты волны ν и определяется в виде

$$\delta \approx \text{const}_1 + \text{const}_2 \nu^\beta, \quad (4)$$

где β зависит от фрактальной размерности dH . Следовательно, характер изменения сечения δ дает способ определения для фрактальной размерности dH .

При оценке движения грунтовых вод следует учитывать особенности водного баланса характеристик сегментов водных бассейнов, оказывающих влияние на инженерные сооружения.

В качестве первого приближения такой оценки может быть использована автоматизированная версия Стэнфордской водобалансной модели типа «Осадки – сток» [2].

В ряде бассейнов часть грунтовых вод просачивается ниже низшей точки русла и никогда не возвращается в русло в виде подземной проточности. При этом часть воды уходит в неактивный запас грунтовых вод, а остальная вода входит в активный запас W_{GW} .

Из активного запаса вода уходит в русло в объеме приращения грунтового стока

$$G_{WF} = \beta(1 + K_V \cdot G_{WS})S_{GW}, \quad (5)$$

где S_{GW} – текущий объем грунтовых вод; β – константа оттока, связанная с константой рецессии грунтовых вод, $\beta = 1 - K_{24}\Delta t / 24$; K_{24} – отношение грунтового стока в произвольный момент времени к стоку, наблюдаемое 24 часа назад; Δt – шаг по времени в часах.

Параметр $K_V \cdot G_{WS}$ учитывает падение уровня грунтовых вод после сильного дождя. Скорость оттока грунтовых вод является функцией коэффициента запаса грунтовых вод G_{WS} , определяемого в виде

$$G_{WS}^t = 0,97(G_{WS}^{t-1} + \Delta S_{GW}). \quad (6)$$

Величина K_V выбирается так, что скорость оттока будет меняться от большой начальной величины до β , в то время как G_{WS} уменьшается между ливнями.

Модель сохранения массового расхода на трещиноватой породе строится в виде

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho d\mu_H = - \int_\Sigma j_n d\mu_\Sigma, \quad (7)$$

где ρ – массовая плотность подземной воды; V – часть объема породы, ограниченная поверхностью Σ ; n – нормаль к Σ ; j_n – поток массы через Σ ; $d\mu_H$ – мера Хаусдорфа; $d\mu_\Sigma$ – индуцированная мера на Σ ; m – аналог пористости.

Чтобы величина $\int_V \rho d\mu_H$ имела размерность массы с учетом размерностей $[d\mu_H] = L^{dH}$, $[\rho] = ML^{-3}$, необходимо, чтобы m имела размерность $[m] = L^\varepsilon$, где $\varepsilon = D - dH$ – дефект пространства. При $\varepsilon = 0$ величина m становится обычной пористостью. Величина D является размерностью пространства задачи.

В пренебрежении силой тяжести следует записать

$$J_n = - \frac{k}{\mu} \rho D_n^{dc} P, \quad (8)$$

где μ – сдвиговая вязкость; k – аналог проницаемости с размерностью $[k] = L^{\varepsilon+dc+1}$;

P – давление грунтовых вод; D_n^{dc} – фрактальная производная в направлении нормали n . При химической размерности фрактала $dc=1$ выражение для J_n дает закон фильтрации Дарси.

Для получения растворимости горных пород R может быть использована линейная дифференциальная модель

$$dR(t) = R_G + C[R(t) - R_S] dt, \quad (9)$$

где R_G – темп роста растворимости; R_S – стандартный уровень растворимости; C – константа пропорциональности; t – текущее время.

Величина коэффициента C определяется по данным лабораторных измерений по формуле

$$C = -\frac{1}{\tau} \ln \left(1 - \frac{\alpha}{100} \right), \quad (10)$$

где τ – стандартное время наблюдений; α – процент разрушения массы породы за время τ .

Природный фон оказывает влияние на величину C , поэтому требуется дополнительный анализ фактора ускорения разрушения породы в естественных условиях.

Отдельного изучения требует процесс механического воздействия карстообразования на разрушение инженерных сооружений.

Методика расчета эколого-экономического риска эксплуатации нефтепроводов. Материалы мировой статистики и события последних лет свидетельствуют о том, что полностью исключить возможность повреждения и разрушения нефтепроводов нельзя. Более того, вероятность аварий на нефтепроводах увеличилась [4].

Основным антропогенным фактором повреждения нефтепроводов чаще всего служит недостаточное гидрологическое и инженерно-геологическое обоснование проектов.

Наиболее распространенной мерой риска является показатель среднего риска, рассчитываемый по формуле

$$R = \sum_{i=1}^n P_i X_i, \quad (11)$$

где P_i – вероятность получения ущерба размера X_i , в результате наступления неблагоприятного события; X_i – величина ущерба, выраженная в натуральных единицах; R – средний риск, выражаемый в натуральных единицах; n – число альтернатив ущерба, включая и нулевой ущерб.

На нефтепроводе можно разработать и осуществить защитные меры. Если допустить, что нефтепровод не влияет на возможность проявления неблагоприятного события, то риски таких событий относятся к «чистым рискам». Защитные меры связаны с материальными затратами, поэтому и вероятность ущерба связана с произведенными затратами и показатель среднего риска примет вид

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_j P_i(j, z_j) X_i, \quad (12)$$

где $P_i(j, z_j)$ – условная вероятность возникновения ущерба X_i при наступлении неблагоприятного события j -го типа и осуществления защитных мероприятий с затратами z_j .

В исследованиях рисков редких независимых событий широкое применение нашел закон Пуассона [4], согласно которому вероятность числа неблагоприятных событий в единицу времени определяется выражением

$$P(n_j) = \frac{1}{n_j} a_j^{n_j} e^{-a_j}, \quad (13)$$

где n_j – число событий j -го вида за расчетный период времени; a_j – математическое ожидание события.

При большой интенсивности событий значение

$$a_j = \lambda_j \Delta t, \quad (14)$$

где λ_j – среднее число событий в единичном интервале времени; Δt – длительность интервала.

Закон Пуассона следует из биномиального закона в предположении, что $n \cdot p = \text{const}$ и $n \rightarrow \infty$. При этом $p \rightarrow 0$, и, следовательно, событие становится редким.

Для пуассоновского закона вероятность хотя бы одной чрезвычайной ситуации j -го типа в течение рассматриваемого интервала времени определяется по формуле

$$Q_j = 1 - P(Q_j) = 1 - e^{-a_j}. \quad (15)$$

Для очень редких, но глобальных, событий допустимо следующее равенство

$$Q_j = a_j. \quad (16)$$

Поэтому среднее время между редкими событиями за единичный период может быть вычислено в виде

$$\Delta \tau_j = 1 / \lambda_j. \quad (17)$$

На практике при оценке значения λ_j обычно учитывается, что вероятность аварий зависит от большого числа природных, антропогенных, технологических и других факторов, меняющихся по участкам трассы, поэтому λ_j можно представить в виде некоторой функции $\lambda_j = f(x_j)$, где x_j – вектор влияющих факторов.

Пуассоновская вероятность наступления хотя бы одного события чрезвычайного характера в течение периода времени t равна

$$Q_j = 1 - P(Q_j) = 1 - e^{-\lambda_j t}, \quad (18)$$

где λ_j – интенсивность аварий j -го вида, а произведение $\lambda_j t$ – потенциал аварий объекта за время t . Величина $\lambda_j = 1 / \Delta \tau_j$, где $\Delta \tau_j$ – единичный цикл наступления события вида j .

При наступлении однотипных неблагоприятных событий ($j = 1$) запишем

$$Q = 1 - P(Q) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}, \quad (19)$$

где t – время прогноза, которое для нефтепровода может быть принято равным проектно-му сроку его эксплуатации.

Наиболее простым подходом к определению потенциала аварий нефтепроводов является исчисление интенсивности аварий на основе статистических данных об аналогичных событиях за некоторый период времени наблюдений.

В зависимости от совокупности конкретных значений влияющих факторов интенсивность аварий λ_j на участке нефтепровода будет отличаться от среднестатистиче-

ской по всем участкам магистрального нефтепровода λ_j^{cp} на 1000 км трассы в год за последние пять лет, обычно принимаемой для оценок подобного рода. По данным ОАО «Транснефть», среднестатистическая вероятность аварий на 1000 км трассы в год за последние пять лет равна $\lambda_j^{cp} = 0,16$.

Экономические оценки последствий разрушения нефтепроводов. При больших массивах разнородной информации взамен калькуляции потерь при чрезвычайном событии могут быть использованы приближенные оценки ущерба на основе экономических показателей, реконструируемых из показателей качества проектных решений [2].

На основе показателя качества проекта Энсофа можно оценить значимость ущерба в виде

$$E = \frac{r \cdot p(T + B)E^*}{K^*}, \quad (20)$$

где r – вероятность наступления чрезвычайной ситуации; p – вероятность успешной реализации защитных мероприятий; T, B – показатели технического и экономического эффекта от внедрения защитных мероприятий; K^* – приведенные к стоимости участка нефтепровода годовые суммарные вложения в строительство и эксплуатацию средств защиты; E^* – приведенная к стоимости нефтепровода величина предотвращенного ущерба от его разрушения.

Разумеется, оценки на основе приведенного показателя носят условный характер, но формируют подход к определению целесообразности проекта по проведению защитных мероприятий до начала подробного технико-экономического анализа на стадии выработки исходных требований на проектирование.

Технико-экономическое обоснование поиска карстоопасных участков линейных частей нефтепроводов. Основные затраты на проведение поиска областей карстообразования производятся за счет натурных экспедиционных изысканий. В состав затрат на экспедиционные изыскания включаются затраты на снаряжение и эксплуатацию аппарата (технологического транспортного средства для обнаружения карстоопасных участков в районе прокладки нефтепровода), а также на сбор геологических данных о залегании карстующихся пород.

Полезный эффект от проведения изысканий можно исчислять количеством обнаруженных областей залегания карстовых пород, могущих оказать неблагоприятное воздействие на устойчивость линейных частей нефтепровода.

Следовательно, задача в целом сводится к определению времени обнаружения неблагоприятного участка с заданной вероятностью [5].

Аппарат для проведения обследования трассы нефтепровода имеет некоторую собственную автономность A_a и скорость V_{ann} . Район поиска определен длиной трассы нефтепровода S_a , подсчитываемой по топографическим данным.

В случае, когда время автономности заканчивается, а объект поиска не обнаружен, аппарат возвращается на базу и после окончания межрейсового периода вновь выходит в район поиска для продолжения работ.

Общая длительность работ определяется заданной вероятностью обнаружения объектов поиска и технико-эксплуатационными элементами аппарата, осуществляющего поиск.

Величина приведенных затрат, принятых за критерий экономической эффективности, зависит от интенсивности поиска, его потенциала и вероятности обнаружения объекта в течение одного экспедиционного поиска. На этом основании экспедиционные затраты исчисляются по следующей схеме.

Первый этап – *определение вероятности обнаружения объекта –карстоопасного участка*. Эта величина равна накопленной вероятности обнаружения объекта

$$P = 1 - \exp\left(-\sum_i \gamma_i t\right), \quad (21)$$

где γ_i – интенсивность поиска некоторого объекта i , а произведение $\gamma_i t$ – потенциал поиска объекта за время t .

Приведенная формула для накопленной вероятности обнаружения хотя бы одного объекта может быть распространена и на случай, когда аппарат не обнаруживает ни одного объекта поиска.

Определим интенсивность поиска γ_i .

Предположим, что место нахождения объекта поиска распределено по закону равномерной плотности, т.е. объект с одинаковой вероятностью находится в любом месте участка поиска S_a . При этом элементарная вероятность обнаружения объекта за промежуток dt (потенциал поиска) равна отношению длины обследованной трассы S_o к длине участка поиска S_a ($\gamma_i t = S_o / S_a$).

За время dt аппарат перемещается на расстояние $S_a = V_a dt$, поэтому интенсивность поиска равна

$$\gamma_i = \frac{S_o}{V_a dt} P_\kappa, \quad (22)$$

где P_κ – вероятность обнаружения, зависящая от качества средств обнаружения объекта.

Величина P_κ возрастает с ростом технической вооруженности экспедиции и (или) усовершенствованием критерия оценки состояния трассы нефтепровода. Одновременно с ростом оснащённости экспедиции увеличиваются затраты на ее снаряжение. Иначе обстоит дело с выработкой критерия: некоторый рост затрат на разработку критерия поиска снижает требования к качеству снаряжения экспедиции, что, в конечном счете, уменьшает затраты на проведение работ в целом.

Если поиск производится систематически, то потенциал поиска будет иметь вид

$$\gamma_i t = \gamma_i \frac{2}{2 - P_\kappa} t, \quad (23)$$

а накопленная вероятность обнаружения

$$P = 1 - e^{-\gamma_i t}. \quad (24)$$

Величина V_a равна скорости проведения экспедиционных мероприятий и может отличаться от скорости аппарата V_{ann} , т.е. $V_a < V_{ann}$.

Время одного экспедиционного поиска (на обнаружение одного объекта) определяется по заданной автономности аппарата A_a и психофизиологическими возможностями членов экспедиции A_ϕ , поэтому

$$t = \min\{A_a, A_\phi\} - (t_n + t_\phi), \quad (25)$$

где $\{A_a, A_\phi\}$ – длительность элементарного этапа экспедиции с учетом автономности аппарата и членов экспедиции; t_n – время на прибытие в зону поиска; t_ϕ – время возвращения в базовый лагерь.

Второй этап – *определение числа поисков на обнаружение объекта по формуле*

$$n = -\frac{\ln(1-P_3)}{\gamma_i t}, \quad (26)$$

где P_3 – заданная вероятность обнаружения объекта.

Третий этап – *определение времени работы экспедиции*.

Поскольку затраты времени на один цикл работ по поиску равны

$$t_u = t + t_n + t_e + t_o, \quad (27)$$

где t_o – время остановки (отдыха) и обслуживания аппарата, то общие затраты времени на обнаружение одного объекта равны

$$t_{обн}(P_3) = nt_u. \quad (28)$$

С учетом вероятных неблагоприятных погодных условий P_n получим время обнаружения

$$T_{обн} = t_{обн} \frac{1}{1-P_n} = \frac{nt_u}{1-P_n}. \quad (29)$$

Четвертый этап – *определение общего времени экспедиции по формуле*

$$T_o = \frac{nt_u}{(1-P_n)k}, \quad (30)$$

где k – коэффициент, определяемый доставкой экспедиции и аппарата к месту обследования.

Пятый этап – *определение среднесуточных эксплуатационных затрат*, которые равны

$$C_a = (0,029D_a^{2/3} + 0,5) \frac{C_a}{C_{an}}, \quad (31)$$

где D_a – вес аппарата; C_a – действующая цена на аппарат во время проведения экспедиции; C_{an} – цена аппарата на момент приобретения, которая может быть выбрана по цене аппарата - аналога.

Шестой этап – *определение приведенных затрат на проведение экспедиции*.

Если расходы на содержание членов экспедиции в сутки равны C_3 , то приведенные затраты составят

$$З = \left(C_{an} + C_n \frac{E_n}{365} \right) T_o, \quad (32)$$

где $E_n = 0,12$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; $C_{an} = C_a + C_n$ – стоимость затрат по аппарату; C_n – стоимость постройки аппарата, $C_n = C_{an}$; C_3 – стоимость затрат по экспедиции.

Выводы.

1. Введение интегрального показателя карстового потенциала в виде мультипликативной функции позволяет построить методику оценки влияния физико-химических факторов на процесс развития карстовых явлений.

2. Элементарная теория фракталов создает возможность оценки значимости влияния трещиноватости горных пород на процесс карстообразования.

3. Влияние движения грунтовых вод на карстовые процессы вызывает необходимость разработки водобалансных моделей для областей, расположенных вблизи трасс прокладки нефтепроводов.

4. Оценка растворимости горных пород может быть произведена путем сравнения динамики ее темпа в природных и лабораторных условиях.

5. В исследованиях рисков редких независимых событий, к которым относится риск разрушения нефтепроводов, широкое применение нашел закон Пуассона. Входящая в зависимость для его определения интенсивность аварий обычно рассматривается как показатель количества аварий на физическую единицу в год. Поскольку такие события достаточно редки, то в этих случаях выдвигается предположение о том, что вероятность события характеризует возможность его проявления, сопровождающуюся значительным ущербом.

6. При больших массивах разнородной информации взамен калькуляции потерь при чрезвычайном событии предложено использовать приближенную оценку ущерба на основе экономического показателя Энсофа, реконструируемого из показателя качества проектных решений.

Список литературы

1. Методические рекомендации по инженерно-геологическому обследованию линейной части магистральных нефтепроводов. Рабочий документ (РД). – М.: Минтопэнерго, АК «Транснефть», 1995. – 56 с.
2. Поздеев, А.Г. Системный эколого-экономический анализ состояния водных ресурсов: Научное издание / А.Г. Поздеев, Ю.Е. Разумов, Ю.А. Поздеева и др. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2002. – 47 с.
3. Динариев, О.Ю. Фильтрация в трещиноватой среде с фрактальной геометрией трещин/ О.Ю. Динариев // Изв. АН СССР. МЖГ. –1990. –№5. –С. 66-70.
4. Тихомиров, Н.П. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками: Учеб. пособие для вузов / Н.П. Тихомиров, И.М. Потравный, Т.М. Тихомирова. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 350 с.
5. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М.: Наука, 1978. – 167 с.

Статья поступила в редакцию 24.05.11.

A. G. Pozdeev, S. F. Kirkin, S. Ya. Alibekov, Yu. A. Kuznetsova

ASSESSMENT IMPROVEMENT OF LINEAR PIPELINES ECOLOGICAL STATE IN THE AREAS WITH INTENSE KARSTIFICATION

Tendencies of engineering research of linear pipelines are stated. The pipelines are situated in the areas of karstification, which are dangerous for stable exploitation of the pipelines.

Key words: *oil-trunk pipelines, karstic processes.*

ПОЗДЕЕВ Анатолий Геннадиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов МарГТУ. Область научных интересов – проблемы водного транспорта и комплексного освоения водных ресурсов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор более 60 публикаций, в том числе семи монографий, трех учебных пособий, 10 патентов и авторских свидетельств на изобретения.

E-mail: PozdeevAG@marstu.net

КИРКИН Станислав Федорович – доктор технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – создание комплексов экологически безопасных внедорожных самоходных амфибийных транспортных средств с управляемой воздушной разгрузкой (САВР); исследование технических характеристик и режимов работы транспортных средств с воздушной разгрузкой в условиях пересеченной местности; разработка аэродинамических движителей самоходных транспортных платформ с воздушной разгрузкой и контактными движителями. Автор более 80 публикаций.

E-mail: KirkinSF@marstu.net

АЛИБЕКОВ Сергей Якубович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машиностроения и материаловедения МарГТУ. Область научных интересов – материаловедение и технология термической обработки материалов; разработка технологии очистки поверхности изделий и способы ее защиты; разработка технологии очистки поверхности железных археологических предметов; разработка технологий утилизации и очистки промышленных отходов и сточных вод предприятий. Автор 120 публикаций.

E-mail: AlibekovSY@marstu.net

КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры водных ресурсов МарГТУ. Область научных интересов – исследование и моделирование русловых процессов в нижних бьефах гидроузлов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор 15 публикаций, в том числе одной монографии и одного патента РФ.

E-mail: 2103Julia@mail.ru

УДК 574

А. Г. Поздеев, В. П. Сапцин, Ю. А. Кузнецова

ОБОБЩЕНИЕ МОДЕЛИ ЭКОЛОГИИ ПОПУЛЯЦИЙ ЛОТКИ-ВОЛЬТЕРРЫ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ

Изложены методы применения системного анализа для обобщения модели динамики экологии популяций. Разработана модель «хищник–жертва», учитывающая влияние загрязнения окружающей среды. Выведены дифференциальные уравнения в аналитической и конечно-разностной форме, которые решены в прикладной среде MathCAD.

Ключевые слова: экология популяций, модель «хищник–жертва», загрязнение среды.

Введение. Применение методов системного анализа в настоящее время получило широкое распространение в различных сферах природопользования. При этом используются различные виды представления систем: аналитические, статистические, множественные, лингвистические или графические. Но при всем разнообразии изучаемых природных ресурсов можно выделить определенную последовательность проведения системного анализа природных комплексов. Эта последовательность включает определение цели и назначения системы, перевод целей в количественные характеристики и критерии, определение альтернативных стратегий поведения следствий от применения каждой из альтернатив, сравнительные оценки альтернативных стратегий по заданным критериям [1].

Например, лесные биогеоценозы являются наиболее характерным примером сложных систем природного характера. В работах отечественных лесоводов появилось явное стремление дать точное определение понятия экологической устойчивости и определить связь этого понятия с понятием математической устойчивости [2].

Первоначальные попытки описания сложных экосистем сводились к эвристическим методам оценки на основе простейшего биотехнического закона, основанного на интегральном представлении логистического уравнения или уравнения роста популяции:

$$x_{n+1} = ax_n - bx_n^2. \quad (1)$$

Первый член уравнения в правой части описывает рост, а нелинейный член ответствен за ограничение роста, связанное, например, с ограниченностью энергетических или пищевых ресурсов. Пренебрегая в этом уравнении нелинейным членом ($b = 0$), можно выписать явное решение линейного уравнения

$$x_{n+1} = ax_n \quad (2)$$

в виде

$$x_n = x_0 a^n. \quad (3)$$

Это решение устойчиво при $|a| < 1$ и неустойчиво при $|a| > 1$.

Н.Ф.Раймерсом создана классификация устойчивости экосистем, включающая ус-

тойчивость эволюционную, историческую и действующую [3].

Анализ экосистем показывает, что многие проблемы хозяйственного освоения природных ресурсов, если не подавляющее их большинство, определяются не дефицитом ресурсов, а незнанием законов, управляющих параметрами комплексов природопользования [4].

Целью работы является выработка обобщенного подхода к составлению математических моделей природно-техногенных комплексов.

Объектом исследования являются системно-динамические модели природно-техногенных комплексов. Предмет исследования направлен на обобщение модели динамики популяций Лотки-Вольтерры на основе системной динамики Форрестера.

Методы исследования основаны на применении методов системного анализа для составления обобщенных дифференциальных уравнений межвидовой конкуренции типа «хищник–жертва».

Решение задачи. Подход к анализу сложных экосистем состоит в выделении подсистем, имеющих устойчивое и целенаправленное поведение. Подсистемы в принципе оказываются весьма простыми по своей природе и имеют относительно элементарное математическое выражение. Наиболее распространенными математическими моделями являются системы линейных и нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка [1]. Это заключение относится как к детерминированным системам, преимущественно рассматриваемым в настоящей работе, так и к экосистемам стохастического характера.

В качестве примера рассмотрим взаимодействие двух динамических систем M , которые можно организовать различными способами. Способы организации систем могут отличаться, по крайней мере, одной операцией. Параметры отражают некоторые средние, или статистические свойства составляющих M -систем, которые одинаковы для двух систем в конечных состояниях.

Вероятность того, что природное состояние является благоприятным для любого произвольного технологического процесса, очень мала. Если же считать природное начальное состояние наиболее благоприятным для некоторого ансамбля технологических процессов, то антропогенное воздействие изменяет это состояние и уменьшает вероятную возможность для последующего технологического использования. Так возникает процесс изменения состояния систем, сопровождающийся возрастанием числа сочетаний природных факторов.

В общем случае микроскопическое состояние макросистемы M можно задать, придавая определенные значения микроскопическим параметрам составляющих ее μ -систем. Последние являются подсистемами системы M . Организация благоприятного природного состояния связана с энергетическими затратами, поэтому, придавая каждой μ -системе то или иное энергетическое состояние, можно определить и состояние M -системы. В любом случае можно принять, что для M -системы, находящейся в каком-либо микроскопическом устойчивом состоянии, каждое из ее состояний априори равновероятно, и чем больше число возможных состояний, тем меньше вероятность каждого. Следовательно, энтропия S M -системы с числом равновероятных состояний Λ связана зависимостью $S = S(\Lambda)$.

Пусть отдельная система состоит из двух независимых M -систем. Энтропия объединенной системы равна

$$S_{12} = S_1 + S_2 \quad (4)$$

или

$$S = S(\Lambda_{12}) = S(\Lambda_1) + S(\Lambda_2). \quad (5)$$

Если две системы независимы, то число равновероятных микроскопических состояний одной не определяется состоянием другой, поэтому

$$\Lambda_{12} = \Lambda_1 \Lambda_2 \quad (6)$$

и уравнение для суммарной энтропии примет вид

$$S = S(\Lambda_1 \Lambda_2) = S(\Lambda_1) + S(\Lambda_2). \quad (7)$$

В частности, это можно записать в виде

$$S = S(\Lambda) = k \ln \Lambda, \quad (8)$$

где k – некоторая постоянная.

Приведенный пример для стохастической системы показывает, что ее поведение определяется простой логарифмической зависимостью.

Устойчивые детерминированные системы, как правило, имеют также довольно простые математические модели. Ниже показаны аналогии между системами различной природы. Параллелизм в процессах живой и неживой природы особенно отчетливо проявляется при сравнении их математических моделей.

Как известно, экология, занимаясь популяциями, решает «вопросы о наличии или отсутствии отдельных видов, о степени их обилия или редкости, об устойчивых изменениях и колебаниях численности популяции». При этом один из подходов носит системный характер, пытаясь увязать свойства популяций с параметрами среды.

Ряд количественных зависимостей экологии популяций выводится на основании простых уравнений стохастического или детерминированного характера [5].

Например, в случае количественной оценки внутривидовой конкуренции используется уравнение вида

$$k = \lg(B/A), \quad (9)$$

где A – конечная плотность популяции; B – начальная плотность популяции.

Сравнение этой зависимости с поведением рассмотренной выше M -системы говорит о их глубокой внутренней связи.

В случае оценки межвидовой конкуренции используется модель Лотки-Вольтерры в виде логистического уравнения

$$\frac{dN}{dt} = r \cdot N \frac{K - N}{K}, \quad (10)$$

где N – численность популяции; K – предельная плотность насыщения; r – скорость роста популяции.

При анализе популяций двух видов с учетом коэффициентов конкуренции α_{12} и α_{21} запишем:

$$\begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= r_1 \cdot N_1 \cdot \frac{K_1 - (N_1 + \alpha_{12} \cdot N_2)}{K_1}, \\ \frac{dN_2}{dt} &= r_2 \cdot N_2 \cdot \frac{K_2 - (N_2 + \alpha_{21} \cdot N_1)}{K_2}, \end{aligned} \quad (11)$$

где индексы 1 и 2 относятся к первой и второй популяциям соответственно; α_{12} – коэффициент конкуренции, определяющий влияние второй популяции на первую; α_{21} – коэффициент конкуренции, определяющий влияние первой популяции на вторую.

Приведем способ построения простейших моделей, основанных на дифференциальных уравнениях Лотки - Вольтерры, объединив на основе принципов системной динамики балансовый метод Форрестера с построением уравнений в конечных разностях

[1, 4]. Покажем, что предельный переход при стремлении интервала итераций по времени к нулю $\Delta t \rightarrow 0$ ($DT \rightarrow 0$) приводит к дифференциальным уравнениям для непрерывных функций.

Обозначим численность или биомассу популяции жертвы N , множитель роста популяции жертвы r , а темп ее роста NG (рис. 1).

Идентификатор состояния численности популяции в некоторый момент времени запишем как N . Тогда получим разностное уравнение уровня

$$N = N + DT \cdot NG, \quad (12)$$

где DT – шаг интервала времени; NG – темп роста популяций.

Уравнение темпа в соответствии со структурной диаграммой имеет вид

$$NG = r \cdot N. \quad (13)$$

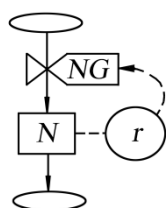


Рис. 1. Балансовая структура для роста популяции жертвы

Производя подстановку, запишем

$$N = N + DT \cdot r \cdot N. \quad (14)$$

Совершая предельный переход $DT \rightarrow 0$, получим $dN = r \cdot N \cdot dt$ или $dN / dt = r \cdot N$.

Интегрирование последнего дифференциального уравнения в пределах от нуля до некоторого времени T позволяет записать

$$\int_{N(0)}^{N(T)} \frac{dN(t)}{N(t)} = \int_0^T r \cdot dt \quad (15)$$

или

$$N(T) = N(0) \exp(-r \cdot t). \quad (16)$$

В отсутствие консументов популяция растет экспоненциально во времени (рис. 2).

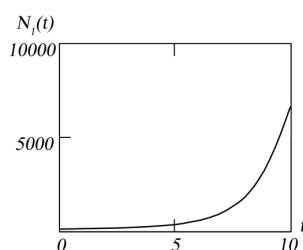


Рис. 2. Кривая роста популяции жертвы: $r=0,1$; $N_1=100$; $t=0 \dots 10$

При условии, что жертвы уничтожаются хищником с численностью популяции C , численность жертв N будет зависеть от частоты нападений a' . Произведение $a'N$ будет множителем эффективности нападений хищников. Если при отсутствии пищи хищники вследствие голодания имеют смертность q , то гибель хищников в модели компенсируется рождением новых особей со скоростью потребления пищи, пропорциональной произведению $a'N$. Множитель рождаемости хищников может быть записан в виде

$$f \cdot a' \cdot C, \quad (17)$$

где f – эффективность влияния пищи на рождаемость хищников [5]. Определив темп смертности жертв ND , темпы рождаемости CG и смертности CD хищников, построим системную диаграмму модели Лотки-Вольтерры (рис. 3).

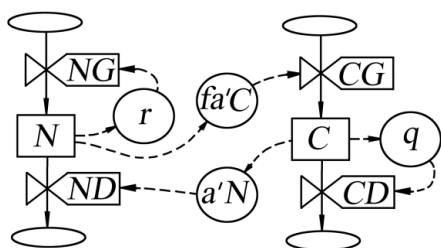


Рис. 3. Системная диаграмма модели Лотки-Вольтерры

Выпишем уравнения уровней в виде:

$$\begin{aligned} N &= N + DT \cdot (NG - ND); \\ C &= C + DT \cdot (CG - CD). \end{aligned} \quad (18)$$

Уравнения темпов для модели имеют вид:

$$\begin{aligned} NG &= r \cdot N; \\ ND &= a' \cdot N \cdot C; \\ CG &= f \cdot a' \cdot C \cdot N; \\ CD &= q \cdot C. \end{aligned} \quad (19)$$

Производя подстановку уравнений темпов в уравнения уровней, получим систему уравнений в конечных разностях:

$$N = N + DT \cdot N \cdot (r - a' \cdot C); \quad (20)$$

$$C = C + DT \cdot C \cdot (f \cdot a' \cdot N - q). \quad (21)$$

Решение системы конечно-разностных уравнений позволяет построить кривые динамики популяций хищника и жертвы (рис.4).

Совершая предельный переход ($DT \rightarrow 0$), запишем классические уравнения Лотки-Вольтерры

$$DN / DT = (r - a' \cdot C) \cdot N; \quad (22)$$

$$DC / DT = (f \cdot a' \cdot N - q) \cdot C. \quad (23)$$

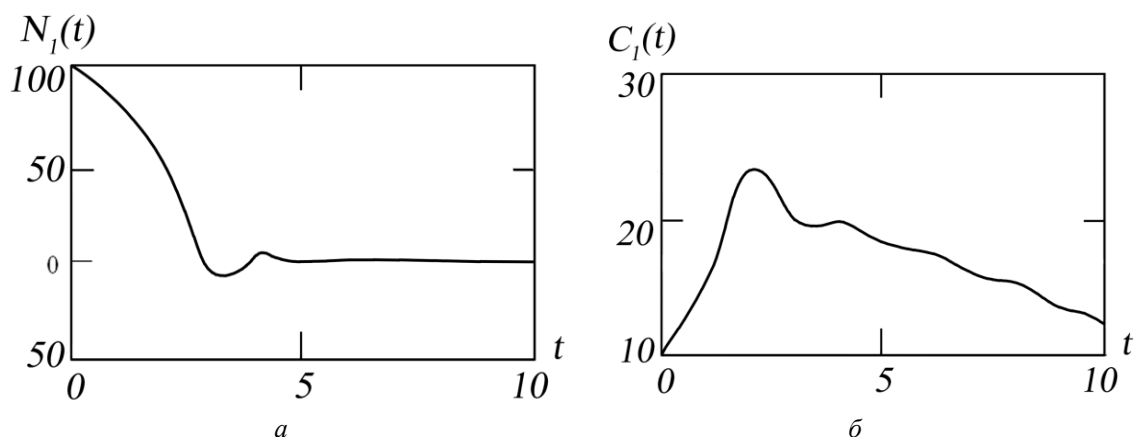


Рис. 4. Решение конечно-разностного уравнения Лотки-Вольтерры:
а – динамика популяции жертвы; б – динамика популяции хищника;

$$r=0,1; a=0,02; f=0,3; q=0,01; N_1=100; C_1=10; t=0...10$$

Следовательно, системный балансовый метод Форрестера позволяет вывести как уравнения Лотки - Вольтерры в конечных разностях, так и в форме системы дифференциальных уравнений. Построение системной диаграммы существенно повышает наглядность процессов, происходящих в сложной экосистеме.

Для демонстрации мощности нового подхода к описанию сложных систем дополним модель Лотки-Вольтерры подсистемой загрязнения окружающей среды (рис. 5).

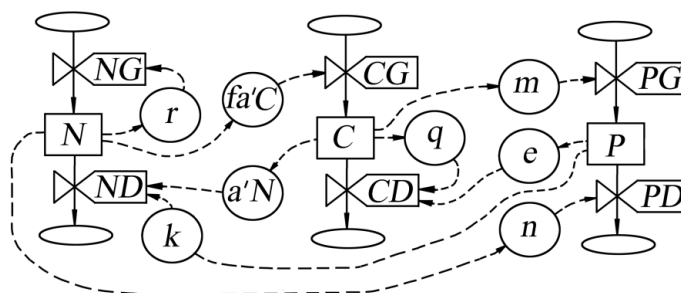


Рис. 5. Системная диаграмма Лотки - Вольтерры, расширенная за счет включения подсистемы загрязнения окружающей среды

Подсистема загрязнения среды включает уровень загрязнения P , а также темп возрастания PG и разложения загрязнения PD . Загрязнение вызывает снижение темпа рождаемости жертвы ND пропорционально произведению множителя k на уровень загрязнения P .

Одновременно загрязнение вызывает снижение темпа рождаемости хищников CD пропорционально произведению множителя e на уровень загрязнения P .

Увеличение численности жертвы N приводит к увеличению темпа разложения загрязнения PD пропорционально множителю n .

Рост численности хищников C вызывает возрастание уровня загрязнения P пропорционально множителю m .

Разумеется, подобный вид петель информационных обратных связей носит условный характер, введенный для иллюстративных целей.

Выпишем систему уравнений уровня:

$$\begin{aligned} N &= N + DT \cdot (NG - ND); \\ C &= C + DT \cdot (CG - CD); \\ P &= P + DT \cdot (PG - PD), \end{aligned} \quad (24)$$

которая дополняется системой уравнений темпов:

$$\begin{aligned} NG &= r \cdot N; \\ ND &= a' \cdot N \cdot C + k \cdot P; \\ CG &= f \cdot a' \cdot C \cdot N; \\ CD &= q \cdot C + e \cdot P; \\ PG &= m \cdot C; \\ PD &= n \cdot N. \end{aligned} \quad (25)$$

Осуществив подстановку уравнений темпов в уравнения уровней, запишем конечно - разностные уравнения:

$$\begin{aligned} N &= N + DT \cdot (r \cdot N - a' \cdot N \cdot C - k \cdot P); \\ C &= C + DT \cdot (f \cdot a' \cdot C \cdot N - q \cdot C - e \cdot P); \\ P &= P + DT \cdot (m \cdot C - n \cdot N). \end{aligned} \quad (26)$$

Системная диаграмма Лотки - Вольтерры, расширенная за счет включения подсистемы загрязнения окружающей среды, может быть представлена системой графических зависимостей (рис. 6).

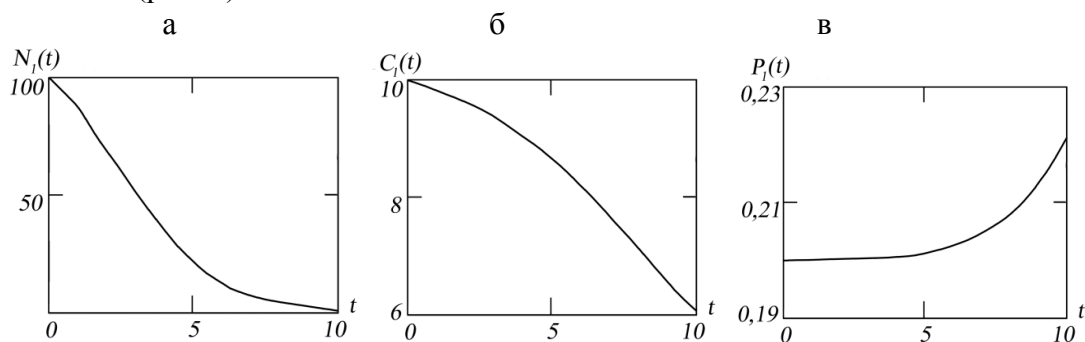


Рис. 6. Решение конечно-разностного уравнения Лотки-Вольтерры, учитывающего загрязнение среды: а – динамика популяции жертвы; б – динамика популяции хищника; в – динамика загрязнения;

$r=0,1$; $a=0,02$; $f=0,3$; $q=0,01$; $k=0,2$; $e=0,0015$; $m=0,1$; $n=0,0002$; $N_1=100$; $C_1=10$;

$P_1=0,2$; $t=0 \dots 10$

Совершая предельный переход ($DT \rightarrow 0$), получим расширенную систему дифференциальных уравнений типа Лотки-Вольтерры:

$$\begin{aligned}dN/dt &= r \cdot N - a' \cdot N \cdot C - k \cdot P; \\dC/dt &= f \cdot a \cdot C \cdot N - q \cdot C - e \cdot P; \\dP/dt &= m \cdot C - n \cdot N.\end{aligned}\tag{27}$$

Выводы.

1. Модель Лотки-Вольтерры внутривидовой конкуренции, описанная в терминах системной динамики Форрестера, образует положительную петлю связи, свидетельствующую о неограниченном росте популяции жертвы с течением времени. В частности, в отсутствии консументов процесс роста носит экспоненциальный характер.

2. Системная диаграмма для модели Лотки-Вольтерры в случае межвидовой конкуренции показывает, что в классической постановке задачи имеется ряд степеней свободы. В модели содержится две внутривидовые связи (положительная – для жертвы и отрицательная – для хищника) и две межвидовые связи, направленные от численности популяции жертвы в сторону темпа роста консументов, а также от уровня численности консументов в сторону темпа деградации численности жертв. Число возможных связей между элементами подсистем модели равно восьми, поэтому остаются свободными четыре из них.

3. Решение полученных систем дифференциальных уравнений Лотки-Вольтерры методом конечных разностей в прикладной программной среде MathCAD для случая межвидовой конкуренции демонстрирует фазовый сдвиг в динамике популяций хищника и жертвы, а также характер экспоненциального затухания квазигармонических колебаний их численности во времени.

4. Решение обобщенной системы уравнений Лотки-Вольтерры, учитывающей влияние загрязнения окружающей среды, демонстрирует более резкое снижение численности популяций хищника и жертвы по сравнению с классическим случаем за тот же временной период.

5. Приведенные примеры аналитических моделей свидетельствуют об эффективности метода аналогий в системном анализе. Внутреннее единство аналитических моделей различной природы позволяет построить обобщенную системную модель объекта произвольной сложности, представляющую собой совокупность балансовых структур техногенного и биологического характера.

6. Неустойчивость решений систем автономных уравнений может быть исследована классическими методами теории автоматического управления. В этом случае система дифференциальных уравнений предварительно линеаризуется, а затем подвергается прямому преобразованию Лапласа или иному интегральному преобразованию. Из найденного уравнения некоторого порядка n , эквивалентного системе уравнений первого порядка, определяется передаточная функция, равная отношению изображения входной величины системы к выходной. Затем анализируется структурная схема системы на основании критерия Ляпунова или Рауса–Гурвица для определения устойчивости системы.

Список литературы

1. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М.: Наука, 1978. – 167 с.
2. Демаков, Ю.П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты): Научное издание / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. – 416 с.
3. Реймерс, Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н.Ф. Реймерс. – М.: Россия Молодая, 1994. – 367 с.

4. Поздеев, А.Г. Системный эколого-экономический анализ состояния водных ресурсов: Научное издание / А.Г.Поздеев, Е.Ю.Разумов, Ю.А.Поздеева и др. – Йошкар–Ола: МарГУ, 2002. – 71 с.

5. Бигон, М. Экология. Особи, популяции, сообщества: Пер. с англ. / М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таунсенд. – М.: Мир, 1989. Т. 2 – 477 с.

Статья поступила в редакцию 27.05.11

A. G. Pozdeev, V. P. Saptsin, Yu. A. Kuznetsova

GENERALIZATION OF ECOLOGY MODEL OF LOTKA-VOLTERRA POPULATION BASED ON SYSTEM DYNAMICS

Methods of system analysis use for generalization of the dynamics model of ecology of populations are stated. The "predator-prey" model is developed, the model takes into account the pollution effect. Differential equations in the analytic and finite-difference forms, solved in MathCAD application environment, are established.

Keywords: population ecology, "predator-prey" model, environmental pollution.

ПОЗДЕЕВ Анатолий Геннадиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов МарГУ. Область научных интересов – проблемы водного транспорта и комплексного освоения водных ресурсов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор более 60 публикаций, в том числе семи монографий, трех учебных пособий, 10 патентов и авторских свидетельств на изобретения.

E-mail: PozdeevAG@marstu.net

САПЦИН Валерий Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры водных ресурсов МарГУ. Область научных интересов – волновые колебания в камерах наклонных судоподъемников и их воздействие на транспортируемые суда; гидравлика вододелительных узлов открытых водных потоков; безопасность гидротехнических сооружений. Автор более 80 публикаций, в том числе шести авторских свидетельств на изобретения, монографий, учебных пособий.

E-mail: SapcinVP@marstu.net

КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры водных ресурсов МарГУ. Область научных интересов – исследование и моделирование русловых процессов в нижних бьефах гидроузлов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор 15 публикаций, в том числе одной монографии и одного патента РФ.

E-mail: 2103Julia@mail.ru

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

УДК 630*181.28:630*166.1(049.32)

КНИГА ПО ИНТРОДУКЦИИ ЭЛЕУТЕРОКОККА КОЛЮЧЕГО

Рецензия на книгу:

Разумников, Н. А. Элеутерококк колючий в интродукционных культурах в Республике Марий Эл: монография. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. – 180 с.

Специалисты в области лекарственного растениеводства и лесного хозяйства могут ознакомиться с книгой кандидата сельскохозяйственных наук, доцента кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии Разумникова Николая Александровича.

В книге изложены результаты длительных интродукционных исследований разновозрастных плантаций элеутерококка колючего семенного и вегетативного происхождения в условиях лесной зоны Среднего Поволжья в период с 1992 по 2008 годы, которые проведены на базе Марийского ботанического сада-института и учебно-опытного лесхоза Марийского государственного технического университета с привлечением современных методик фенологических, биометрических, агротехнических, физико-химических и биохимических исследований растений и почвы.

В книге подробным образом освещены ботанические, ресурсоведческие эколого-биологические аспекты произрастания элеутерококка колючего в природе, его хозяйственного использования и выращивания в различных почвенно-климатических регионах России и ближнего зарубежья.

В соответствии с основной целью и задачами исследований автор анализирует сезонные ритмы растений, тесно связанные с суммой эффективных температур; характеризует почвенные условия произрастания и развития корневой системы на двух разновидностях почвы с учетом их морфологического и гранулометрического состава, физико-химических свойств, кислотности, обеспеченности гумусом и элементами минерального питания; прослеживает рост и развитие сеянцев местной репродукции до шестилетнего возраста, с последующей оценкой 8...16-летних саженцев семенного и вегетативного происхождения по комплексу хозяйственно значимых признаков и прототипам сортообразцов.

Для оценки корневой продуктивности элеутерококка колючего в ареалах естественного произрастания автор исследует коррелятивные зависимости между развитием надземных и подземных органов в условиях интродукции и в местах естественного произрастания и приводит результаты обширных исследований по биохимическому и эколого-радиологическому качеству корней и корневищ, выращенных в условиях Республики Марий Эл.

Заключают книгу рекомендации по выращиванию сеянцев элеутерококка колючего и созданию на их основе плантационной культуры. Автор также касается способов рационального использования растительного сырья элеутерококка в местах естественного произрастания.

Книга хорошо иллюстрирована и снабжена обширной библиографией отечественных авторов. Она является законченным научно-исследовательским трудом по обобщению и авторскому продвижению опытных знаний по культуре элеутерококка колючего в условиях Среднего Поволжья Российской Федерации.

Книгу возможно использовать как научно-исследовательскую монографию по широкому кругу вопросов и как учебно-методическое пособие для специалистов, занимающихся выращиванием лекарственных растений; научных работников, занятых проблемами лекарственного растениеводства в области ресурсоведения и разработки агротехнологий; студентов сельскохозяйственных и биолого-экологических специальностей.

В. Б. Загуменников

Статья поступила в редакцию 08.06.11.

BOOK ON INRODUCTION OF SPINY ELEUTEROCOCUS

Book review:

Razumnikov, N.A. Spiny eleuterococus in introduction crops of Mari El Republic: monograph. – Yoshkar-Ola: MarSTU, 2011. – 180 p.

Results of long term introduction researches of spiny eleuterococus of different age of seed and vegetation origin in the conditions of forest area of the Middle Volga region in the period from 1992 to 2008 are stated. The researches are carried out on the basis of Mari Botanical Garden-Institute and Scientific-Experimental Forestry Enterprise of Mari State Technical University with the use of modern methods of phonological, biometric, agro-engineering, physical and chemical and biochemical researches of plants and soil.

ЗАГУМЕННИКОВ Валерий Борисович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории агротехники и агрохимии ВНИИ лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР РАСХН). Область научных интересов – лекарственное растениеводство, агрохимия. Автор двух монографий по лекарственному растениеводству и 90 публикаций.

E-mail: zagumennic@list.ru

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Вестник МарГТУ». Серия «Лес. Экология. Природопользование» принимает к публикации статьи, соответствующие профилю издания по рубрикам:

«**Лесное хозяйство**» – 06.03.01 Лесные культуры, селекция, семеноводство; 06.03.02 Лесоведение и лесоводство, лесоустройство и лесная таксация; 06.03.03 Агролесомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними.

«**Технологии и машины лесного дела**» – 05.21.01 Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства; 05.21.05 Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки; 05.23.11 Проектирование и строительство дорог.

«**Проблемы экологии и рационального природопользования**» – 03.02.08 «Экология (технические науки: в транспорте, в энергетике, в строительстве и ЖКХ)»; 03.02.14 Биологические ресурсы (биологические и сельскохозяйственные науки); 03.01.06 Биотехнология (в том числе бионанотехнологии).

Статья должна содержать только оригинальный материал, отражающий результаты завершенных исследований автора, ранее не публиковавшихся, объемом 6–15 страниц, включая рисунки.

К печати принимаются материалы, которые не опубликованы и не переданы в другие редакции. Рукописи проходят обязательное рецензирование. В «Вестнике...» печатаются только статьи, получившие положительные рецензии.

Отклоненные в результате рецензирования материалы возвращаются в одном экземпляре (с приложением копии рецензии).

Требования к оригиналам предоставляемых работ*Структура научной статьи*

1. Аннотация (3–4 предложения), ключевые слова.
2. Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).
3. Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации (1–2 предложения).
4. Решаемые задачи, направленные на достижение цели.
5. Математическое, аналитическое или иное моделирование.
6. Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
7. Интерпретация результатов или их анализ.
8. Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающих, что цель, поставленная в работе, достигнута.

Требования к оформлению статьи

Статья должна быть предоставлена в электронном виде и компьютерной распечатке (2 экз.) на бумаге формата А4. Шрифт Times New Roman, размер шрифта 12 пт, межстрочный интервал одинарный. Поля: внутри – 2 см, верхнее, нижнее, снаружи – 3 см (зеркальные поля), абзацный отступ первой строки на 0,75 см.

На первой странице статьи слева печатается УДК (размер шрифта 12 пт, прямой, светлый) без отступа. Ниже, справа – инициалы, фамилия автора (размер шрифта 14 пт, курсив, полужирный). Ниже, по центру – название статьи (размер шрифта 14 пт, прямой, полужирный, прописной).

Далее размещается аннотация (выравнивание по ширине, размер шрифта 12 пт, курсив, отступ слева и справа 1 см). Аналогично оформляются ключевые слова. Аннотация и ключевые слова статьи предоставляются на **русском и английском языках**.

Рисунки, графики, таблицы должны иметь нумерационный и тематический заголовки (размер шрифта 10 пт, заголовки полужирным, по центру).

Таблицы и рисунки должны быть вставлены в текст после абзацев, содержащих ссылку на них.

Размеры иллюстраций не должны превышать размеров текстового поля (не более 15 см).

Список литературы оформляется согласно порядку ссылок в тексте (где они указываются в квадратных скобках) и обязательно в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Статья должна быть подписана автором. После подписи автора и даты указываются его фамилия, имя, отчество (полностью), место работы, ученая степень, должность, область научных интересов, количество опубликованных работ, телефон, e-mail, домашний адрес.

К статье прилагаются следующие документы:

- экспертное заключение о возможности опубликования;
- рекомендация кафедры;
- отзыв научного руководителя (если автор является аспирантом или соискателем).

Материалы, не соответствующие вышеуказанным требованиям, не рассматриваются.

Адрес для переписки: 424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина 3, МарГТУ,
редакция журнала «Вестник МарГТУ», **e-mail:** vestnik@marstu.net

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Подробнее – на сайте МарГТУ: <http://www.marstu.net>