

**Рекомендации производству**

В качестве рекомендаций производству предложить произвести на всей площади гари посадку лесных культур сосны обыкновенной.

**Библиографический список**

1. Ишутин Я.Н. Лесоводственное обоснование восстановления сосны на гарях в ленточных борах Алтая: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Барнаул, 2000. – 16 с.  
 2. Заблоцкий В.И. Биоэкологические особенности лесовосстановления горельников (на примере юго-западной части ленточных боров Алтайского края): автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Барнаул: Изд-во АГУ, 2000. – 20 с.

3. Парамонов Е.Г., Ишутин Я.Н. Крупные лесные пожары в Алтайском крае. – Барнаул: Дельта, 1999. – 193 с.  
 4. Грибанов Л.Н. Степные боры Алтайского края и Казахстана. – М.; Л.: Госбумиздат. 1960. – 145 с.  
 5. Руководство по проведению лесовосстановительных работ в лесах Западной Сибири. – М.: Минлесхоз СССР, 1985. – 120 с.  
 6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1965. – 423 с.  
 7. Куприянов А.Н., Трофимов И.Т., Заблоцкий И.Т. и др. Восстановление лесных экосистем после пожаров. – Кемерово: Ирбис, 2003. – 262 с.



УДК 581.43:631.811:630\*161.32\*231.42:674.032.475.352

**Е.В. Лебедев**

**КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
 ЧИСТОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ФОТОСИНТЕЗА,  
 МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ  
 ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В ОНТОГЕНЕЗЕ В ЗОНЕ ЮЖНОГО АЛТАЯ**

**Ключевые слова:** лиственница сибирская, чистая продуктивность фотосинтеза, минеральное питание, биологическая продуктивность, бонитет, онтогенез.

**Введение**

Управление продукционными процессами лесных растений не может осуществляться без учёта количественных характеристик их фотосинтетической активности, минеральной и биологической продуктивности. Применяемые методики оценки фотосинтеза не позволяют получить данные на уровне организма за длительный период из-за большой сложности учёта потерь биомассы на дыхание и корневые экссудаты [1]. Поглощательная активность корневой системы часто изучалась на отдельных корнях и не рассматривалась совместно с деятельностью фотосинтетического аппарата [2]. Подавляющее большинство данных о биологической продуктивности лесных фитоценозов содержат морфометрические характеристики хозяйственно ценной части ствола. В то же время представленные В.А. Усольцевым [3] табличные данные по фитомассе лесов, полученные путём рекурсивно-блочного моделирования обширного материала таблиц хо-

да роста древостоев в различных условиях, могут быть успешно подвергнуты комплексному физиологическому анализу на уровне организма с учётом данных наших модельных микрополевых опытов с 1-3-летними растениями, выращенными на дерново-подзолистой и серой лесной почвах [2], а также климатических данных мест произрастания насаждений [4].

**Целью исследования** явилось проведение по табличным материалам комплексного физиологического анализа на уровне организма и получение расчётных количественных данных чистой продуктивности фотосинтеза, минеральной и биологической продуктивности, депонирования углерода и характера связи между ними у лиственницы сибирской в условиях Южного Алтая [3].

**Объекты и методы**

Физиологическому анализу подвергнуты табличные данные сомкнутых лиственничников (*Larix sibirica* Ledeb.) Южного Алтая, произраставших в зоне южной тайги Алтае-Саянской горной провинции, составленные по материалам [3, с. 142-144; 5]. Бонитеты: I-V. Возрастной период от 20 до 280 лет с интервалом 20 лет. Безморозный период

120 дней. Годовое количество осадков 630 мм. Климат резко континентальный. Таксационные данные масс корней, листьев, древесины стволов и сучьев пересчитывали на одно растение по возрастам. Поверхность хвои определяли по вычисленным нами коэффициентам на свежем материале [2]. На 1 г сухой хвои приходилось 140 см<sup>2</sup> поверхности. Чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) определяли за каждый сравниваемый период в г/м<sup>2</sup>день [6]. Депонирование углерода в расчёте на 1 га определяли по [7]. Расчет активной поверхности корней растения проводили на основе данных наших модельных микрополевых опытов [2]. В силу высокого постоянства морфологии активных корней в пределах растения (диаметра, длины активного корня, величины удельной активной поверхности корневой системы (УАПКС) и длины корней, приходящихся на единицу массы корневой пряди диаметром 2-3 мм), для расчёта активной поверхности корней растения применяли средние значения УАПКС и длины активных корней, приходящихся на единицу массы пряди: 3,8 см<sup>2</sup>/м и 24 м/г соответственно [8]. На 1 г сухой массы пряди приходилось 91,2 см<sup>2</sup> активной поверхности корней. Листовой аппарат и активная часть корневой системы – две стороны единого процесса питания, и между ними существует тесная функциональная связь. Отношение корневого потенциала (КП) к фотосинтетическому (ФП) в наших опытах [8] было в среднем равно 0,24. В функциональном отношении это означает, что 1 м<sup>2</sup> активной поверхности корней обслуживал 4,17 м<sup>2</sup> хвои. Используя средние значения отношения поверхности активных корней к поверхности хвои, полученные в модельных опытах, определяли поверхность активных корней всего растения и долю их в массе корней в каждом возрасте. По полученным данным активная часть корневой системы не превышала 3% от массы корней растения, которая использовалась в дальнейших расчётах. Вычисленные размеры КП в каждом возрасте позволяют определить минеральную продуктивность корней целого растения [2]. С растений разного возраста отбирали пробы хвои, ветвей, стволов и корней разного диаметра, группировали по органам и определяли в них содержание N, P, K, Ca и Mg по [9]. Содержание элементов в единице массы дерева в каждом сравниваемом периоде определено с учётом соотношения между органами. Потребность в элементах минерального питания при формировании единицы биомассы у различных видов растений довольно стабильна и контролируется генетически, несмотря на варьирование условий их произрастания. Это связано со специфи-

кой обменных процессов, которые целенаправленны и требуют строго нормированного количества элементов [10]. Поэтому полученные нами данные использованы в расчётах. Биологическую продуктивность (БП) находили по относительному увеличению исходной массы растения в сравниваемых периодах. Полученные данные подвергали корреляционному и регрессионному анализу.

### Результаты и их обсуждение

За период онтогенеза чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) снизилась в 4,3-5,0 раза у растений I-V бонитетов (рис. 1а). Связь ЧПФ с возрастом была высокая отрицательная ( $r =$  от -0,883 до -0,901). Биологическая продуктивность (БП) падала с возрастом у всех бонитетов в 6,05-8,14 раза ( $r =$  от -0,592 до -0,635) (рис. 1б). Причём после 140 лет показатель стабилизировался. Количество углерода, депонированного фотосинтетическим аппаратом в расчёте на 1 га за период онтогенеза, уменьшалось в 3,1-3,9 раза у I-V бонитетов (рис. 1в). Связь с возрастом была высокая обратная ( $r =$  от -0,966 до -0,982). Минеральная продуктивность (МП) у всех бонитетов по всем минеральным элементам падала с возрастом: по N – в 20,0-23,2, по P – в 20,5-23,6, по K – в 16,2-18,7, по Ca – в 17,7-20,5, а по Mg – в 16,9-19,5 раза соответственно у растений I-V бонитетов (рис. 2). Элементы по интенсивности их поглощения единицей активной поверхности корней в сутки во все возрастные периоды располагаются в порядке: Ca>Mg>N>K>P. Связь поглощения N с возрастом была высокой отрицательной по всем бонитетам ( $r =$  от -0,786 до -0,798). По P, K, Ca и Mg по всем пяти бонитетам наблюдалась аналогичная закономерность. С возрастом растений происходило снижение количественных значений изучаемых показателей. Установлено, что значения ЧПФ, количество депонированного углерода и МП по всем элементам были пропорциональны высоте бонитета. Для лучшего понимания их взаимосвязи величины БП, ЧПФ, МП (по азоту) и отношение КП/ФП были представлены в одном масштабе в виде доли от максимальных значений, выраженных в процентах (рис. 3). Физиологические показатели сравнивали с усвоением корнями азота – ведущего элемента питания. При растущей с возрастом нехватке азота и падении МП снижалась ЧПФ, а значит, и БП. Связь МП с ЧПФ и БП была высокой положительной ( $r$  был на уровне от 0,972 до 0,978 и от 0,938 до 0,955 соответственно для I-V бонитетов). Отношение КП/ФП в онтогенезе у всех бонитетов изменялось в 4,5-5,8 раза.

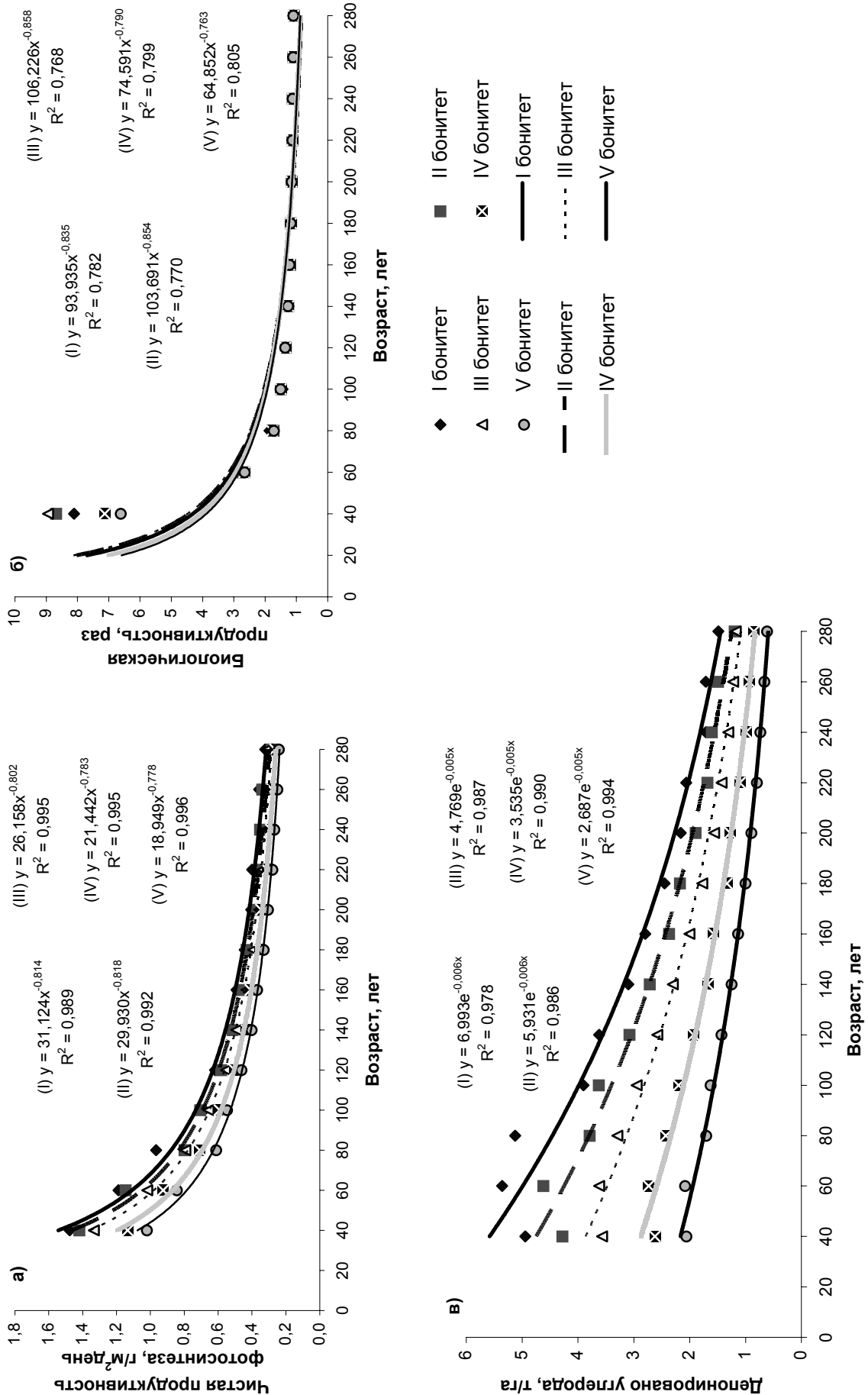


Рис. 1. Чистая продуктивность фотосинтеза, биологическая продуктивность и депонирование углерода у лиственницы сибирской в сомкнутых насаждениях Южного Алтая

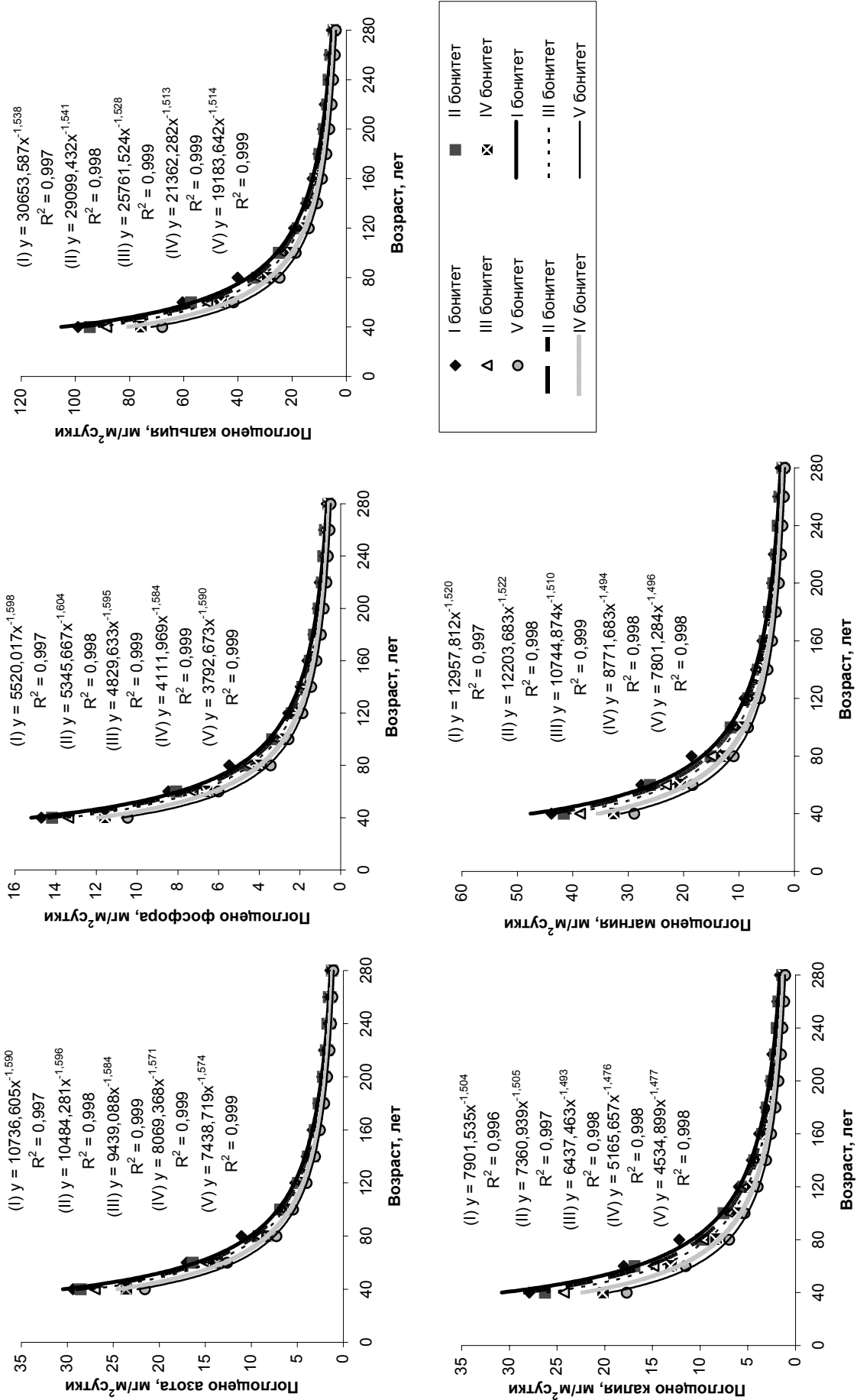


Рис. 2. Минеральная продуктивность корневых систем растений лиственницы сибирской в сомкнутых насаждениях Южного Алтая

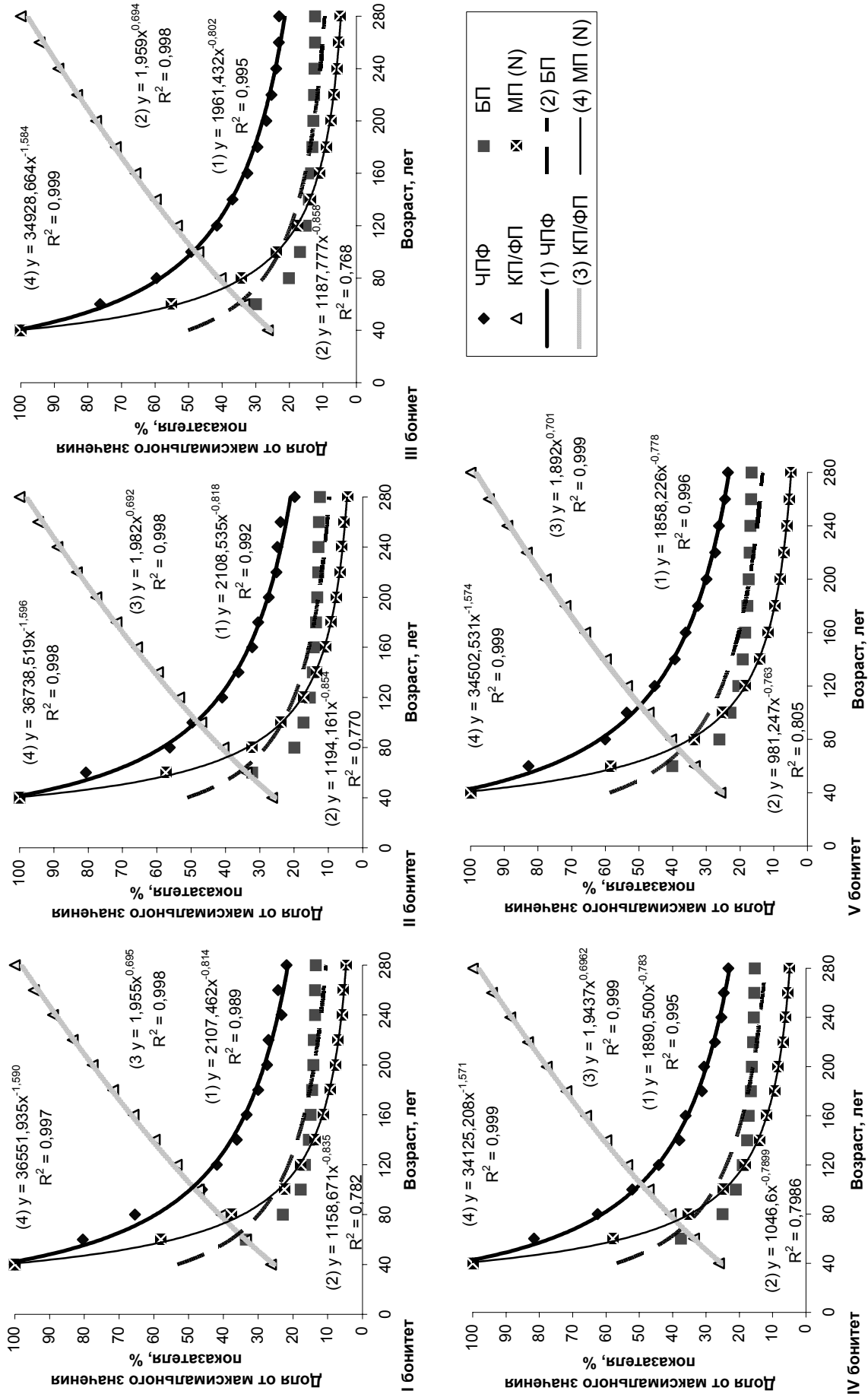


Рис. 3. Связи основных физиологических показателей лиственницы сибирской в сомкнутых насаждениях Южного Алтая

С возрастом в насаждениях всех бонитетов падала функциональная связь корневой системы с хвоей. Связь между КП/ФП с возрастом была высокой положительной ( $r =$  от 0,998 до 0,999), а с МП – высокой обратной ( $r$  варьировал от -0,809 до -0,823 в зависимости от бонитета). Корреляции КП/ФП с БП и ЧПФ также были отрицательными ( $r$  варьировал, соответственно, от -0,616 до -0,664 и от -0,900 до -0,919). В условиях нарастающей в течение онтогенеза нехватки элементов в насаждениях всех бонитетов корневая система не могла активизировать поглотительную активность, и для улучшения условий питания на уровне организма смещалось соотношение КП/ФП в пользу корней, что позволяло длительное время обеспечивать растение дополнительными количествами элементов для поддержания основного процесса питания – фотосинтеза. Поэтому при низкой обеспеченности растений элементами увеличение ростовой реакции корней для освоения новых почвенных горизонтов является ответной неспецифической адаптивной реакцией.

Такая реакция позволяла растениям в течение длительного времени стабилизировать БП при прогрессирующем снижении концентрации минеральных элементов. Закономерности изменения физиологических показателей в онтогенезе в сравнении с поглощением азота и их связи были аналогичны у растений всех типов леса и при сравнении их с поглощением P, K, Ca и Mg.

### Выводы

1. Чистая продуктивность фотосинтеза, количество депонированного углерода и минеральная продуктивность лиственницы сибирской в изучаемом возрастном периоде снижались пропорционально падению бонитета в 4,3-5,0, в 3,1-3,9 и от 16,2-20,5 до 18,7-23,6 раза соответственно. Биологическая продуктивность растений падала у всех бонитетов в 6,05-8,14 раза. Резкое падение БП наблюдалось к 140 годам, после чего показатель стабилизировался.

2. У насаждений всех бонитетов в онтогенезе отмечена высокая положительная связь поглощения корнями азота с ЧПФ и БП ( $r =$  от 0,972 до 0,978 и от 0,938 до 0,955 соответственно). При сравнении величин ЧПФ и БП с поглощением P, K, Ca и Mg результаты были близкими с данными по азоту.

3. При ухудшении питания с возрастом наблюдалась неспецифическая адаптивная реакция растений – увеличение КП относительно ФП, что улучшало минеральное питание и дало возможность поддерживать

фотосинтез на жизненно необходимом уровне.

4. Предложенный способ преобразования таксационных данных в физиологические позволяет получать количественные данные фотосинтетической активности, минеральной и биологической продуктивности древесных пород на уровне организма в онтогенезе, что может быть теоретической основой для разработки агроприёмов, повышающих продуктивность растений.

### Библиографический список

1. Болондинский В.К. Исследование зависимости фотосинтеза от интенсивности солнечной радиации, температуры и влажности воздуха у растений карельской березы и березы повислой // Труды Карельского научного центра РАН. – Петрозаводск, 2010. – № 2. – С. 3-9.
2. Лебедев Е.В. Возможности повышения биологической продуктивности лесобразующих пород в условиях экологического потенциала Нижегородской области: дис. ... канд. биол. наук. – Н.Новгород, 2003. – 193 с.
3. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 763 с.
4. Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1973. – 203 с.
5. Золотухин В.С. Лиственничники Южного Алтая // Вопросы лесного хозяйства Сибири и Дальнего Востока. – Красноярск: СибТИ, 1959. – С. 46-55.
6. Ничипорович А.А. О методах учёта и изучения фотосинтеза как фактора урожайности // Тр. ИФР АН СССР. – 1955. – Т. 10. – С. 210-249.
7. Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. – 2000. – № 1. – С. 69-71.
8. Лебедев В.М., Лебедев Е.В. Морфологические, функциональные и физиологические особенности активной части корневой системы лесобразующих пород Волго-Вятского региона // Агрехимия. – 2011. – № 4. – С. 38-44.
9. Радов А.С., Пустовой И.В., Корольков А.В. Практикум по агрохимии. – М.: Колос, 1971. – 335 с.
10. Ильин В.Б. Элементарный химический состав растений. Факторы его определяющие // Известия Сиб. отд. АН СССР. – Сер. биол. науки. – 1977. – № 10. – Вып. 2. – С. 3-14.

