

9. Климат Уфы. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 118 с.
10. Кучеров С.Е. Особенности годичного радиального прироста стволовой древесины серокорой и желтокорой форм сосны обыкновенной // Экология. – 1985. – № 5. – С.73–75.
11. Кучеров С.Е. Характеристика радиального прироста дуба в лесных насаждениях г. Уфы // Дендрозкология: техногенез и вопросы лесовосстановления. – Уфа: Гилем, 1996. – С. 65–79.
12. Молчанов А.А. Лес и окружающая среда. – М.: Наука, 1968. – 247 с.
13. Осаму К., Казуми Ф., Жан Н. Анализ годичных колец древесины в связи с воздействием факторов окружающей среды, вызывающих угнетение роста ели европейской на опытном лесном участке Хоккайдского университета // Хоккайдо дайгаку ногакубу энсюри кэнкю хококу / Res. Bull. Coll. Hokkaido Univ. – 1992. – Т. 49. – № 1. – С. 37–57.
14. Пастернак П.С., Приступа Г.К., Мазела В.Г. Влияние промышленных эмиссий на радиальный прирост сосны // Лесоводство и агролесомелиорация. – Киев, 1985. – №70. – С.16–19.
15. Пугачевский А.В. Анализ динамики радиального прироста ели в связи с дифференциацией деревьев // Лесоведение. – 1983. – № 3. – С. 71–73.
16. Слесивцева В.И. Структурные изменения стебля древесных растений в условиях аэротехногенного загрязнения // Проблемы ботаники на рубеже XX–XXI веков: тез. докл., представленных II (X) съезду Русского ботан. об-ва. – СПб., 1998. – Т. 1. – С.75–76.
17. Methods of Dendrochronology. Application in Environmental Science / E.R. Cook [et al.]. – Dordrecht: Kluwer Publ, 1990. – 394 p.



УДК 581.43:631.811:630*161.32*187:674.032.475.352

Е.В. Лебедев

ВЛИЯНИЕ ТИПА ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ПОГЛОТИТЕЛЬНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ И БИОЛОГИЧЕСКУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ НА УРОВНЕ ОРГАНИЗМА В ОНТОГЕНЕЗЕ

Получены количественные данные чистой продуктивности фотосинтеза, минеральной и биологической продуктивности и характер связи между ними у лиственницы сибирской разных типов леса юга Красноярского края.

Ключевые слова: лиственница сибирская, чистая продуктивность фотосинтеза, минеральное питание, биологическая продуктивность, типы леса, онтогенез, Красноярский край.

E.V. Lebedev

THE FOREST VEGETATION CONDITION TYPE INFLUENCE ON THE ROOT SYSTEM ABSORBING ACTIVITY AND ON SIBERIAN LARCH BIOLOGICAL PRODUCTIVITY AT THE ORGANISM LEVEL IN ONTOGENESIS

The quantitative data of the photosynthesis net productivity, the mineral and biological productivity, the nature of the relationship between them in the Siberian larch in the Krasnoyarsk Krai South different forest types are received.

Key words: Siberian larch, photosynthesis net productivity, mineral nutrition, biological productivity, forest types, ontogenesis, Krasnoyarsk Krai.

Введение. Успешное управление ростовыми процессами растений невозможно без учета количественных данных фотосинтетической активности, минеральной и биологической продуктивности. Подобные комплексные исследования весьма редки и разрознены [7], поскольку изучение продуктивности изначально строилось на измерениях хозяйственно ценной части ствола [15]. Фотосинтез хвойных изучался газометрическими методами, либо на основе анализа флюоресценции хвои [12], что не давало количественных данных прироста органического вещества за длительный период (вегетацию) из-за весьма сложного учета потерь на дыхание и корневые экссудаты [3]. Минеральное питание изучалось чаще всего на декапитированных корнях и ограничивалось определением адаптивной реакции корневой системы на условия произрастания [10]. Указанные методы не позволяют перейти на уровень целого организма и связать поглощение элементов питания с фотосинтезом и продуктивностью растения. Между тем табличные данные по фитомассе

лесов Северной Евразии, представленные В.А. Усольцевым [13] на основе рекурсивно-блочного моделирования обширного материала таблиц хода роста древостоев на уровне организма в различных условиях, позволяют существенно расширить знания о биологии древесных растений в онтогенезе, привлекая сведения, полученные в модельных микрополевых опытах с изучаемыми растениями [7, 9] и природно-климатические данные мест произрастания [4, 6].

Целью исследования было проведение по табличным материалам [13] комплексного физиологического анализа на уровне организма и получение расчетных количественных данных чистой продуктивности фотосинтеза, минеральной и биологической продуктивности, депонирования углерода и характера связи между ними у растений лиственницы сибирской в различных типах лесорастительных условий юга Красноярского края.

Объекты и методы. Физиологическому анализу подвергнуты табличные данные [13, с. 137–139] модельных лиственничников (*Larix sibirica* Ledeb.) южных районов Красноярского края, произраставших в зоне лесостепи Алтае-Саянской горной провинции, составленные по материалам [14]. Типы лесорастительных условий: широколиственный (бонитет I), разнотравный (бонитет II), мшисто-ягодный (бонитет III) и остепненный (бонитет IV). Возрастной период от 30 до 220 лет с интервалом 10 лет. Безморозный период 120 дней. Годовое количество осадков 470 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 [1]. На 1 г сухой хвои приходилось 140 см² поверхности. Чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) определяли за каждый сравниваемый период в г/м²день [9]. Депонирование углерода в расчете на 1 га определяли по [2]. Для расчета активной поверхности корней всего растения применяли данные наших модельных микрополевых опытов с 1–3-летними растениями на дерново-подзолистой и серой лесной почвах [8]. 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 расчета активной поверхности корней растения применяли средние значения УАПКС и длины активных корней, приходящихся на единицу массы пряди: 3,8 см²/м и 24 м/г соответственно [7]. На 1 г сухой массы пряди приходилось 91,2 см² 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 [7] было в среднем равно 0,24. В функциональном отношении это означает, что 1 м² активной поверхности корней обслуживал 4,17 м² 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 расчетах. Вычисленные размеры КП в каждом возрасте позволяют определить минеральную продуктивность корней целого растения [8]. 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 [11]. Содержание элементов в единице массы дерева в каждом сравниваемом периоде определено с учетом 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 спецификой обменных процессов, которые целенаправленны и требуют строго нормированного количества элементов [5]. Поэтому полученные нами данные использованы в расчетах. Биологическую продуктивность (БП) находили по относительному увеличению исходной массы растения в сравниваемых периодах. Полученные данные подвергали корреляционному и регрессионному анализам.

Результаты исследования. За период от 30 до 220 лет чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) снизилась в 5,9, 9,6, 9,3 и 100,0 раз соответственно у растений бонитетов I–IV (рис. 1,а). Связь ЧПФ с возрастом была высокая отрицательная ($r = \text{от } -0,855 \text{ до } -0,936$). Биологическая продуктивность (БП) падала с возрастом во всех типах леса (рис. 1,б) в 1,8–2,2 раза ($r = \text{от } -0,709 \text{ до } -0,795$). Количество углерода, депонированного фотосинтетическим аппаратом в расчете на 1 га за период онтогенеза, уменьшалось в 7,2, 11,8, 10,7 и 62,0 раза соответственно от I к IV бонитетам (рис. 1,в). Связь с возрастом была высокая обратная ($r = \text{от } -0,888 \text{ до } -0,963$). Минеральная продуктивность (МП) во всех типах леса по всем минеральным элементам падала с возрастом: по N – в 21,0–335,0, по P – в 27,3–330,0, по K – в 17,7–490,0, по Ca – в 20,9–362,0, а по Mg – в 19,4–425,0 раза соответственно у растений бонитетов I–IV (рис. 2). Максимальные различия МП в онтогенезе были в остепненном типе (IV бонитет), а минимальные – в широколиственном (I бонитет). Максимальное количество каждого элементов поглощалось в широколиственном типе лесорастительных условий, а минимальное – в остепненном.

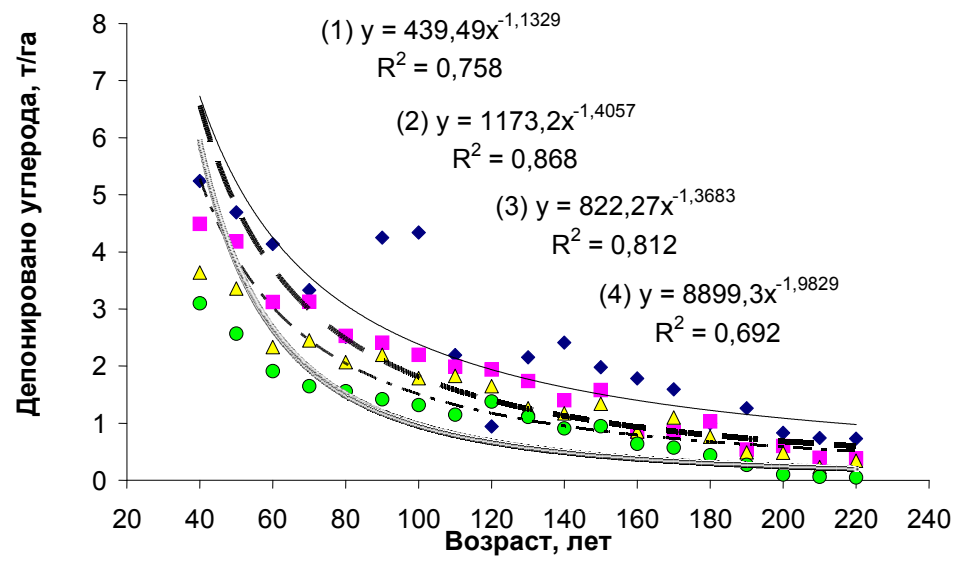
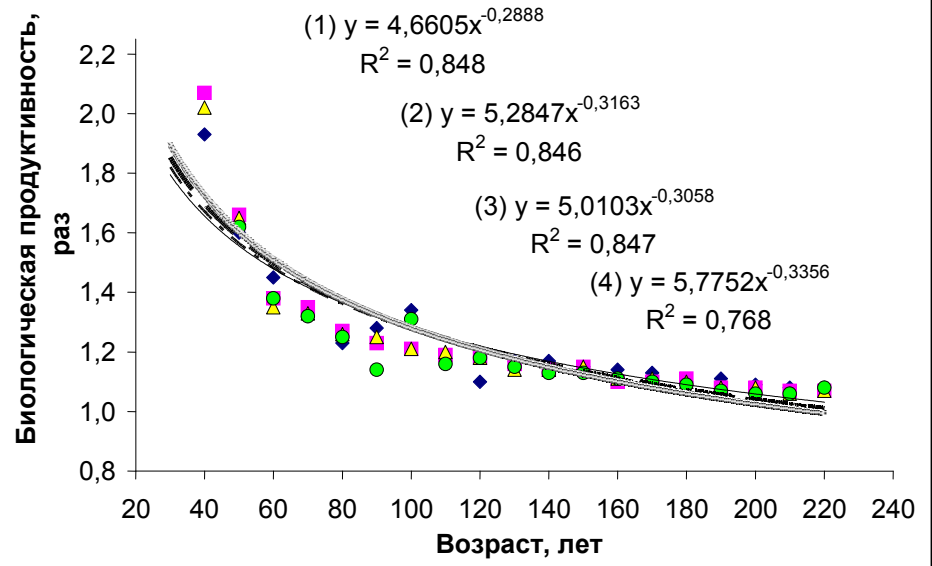
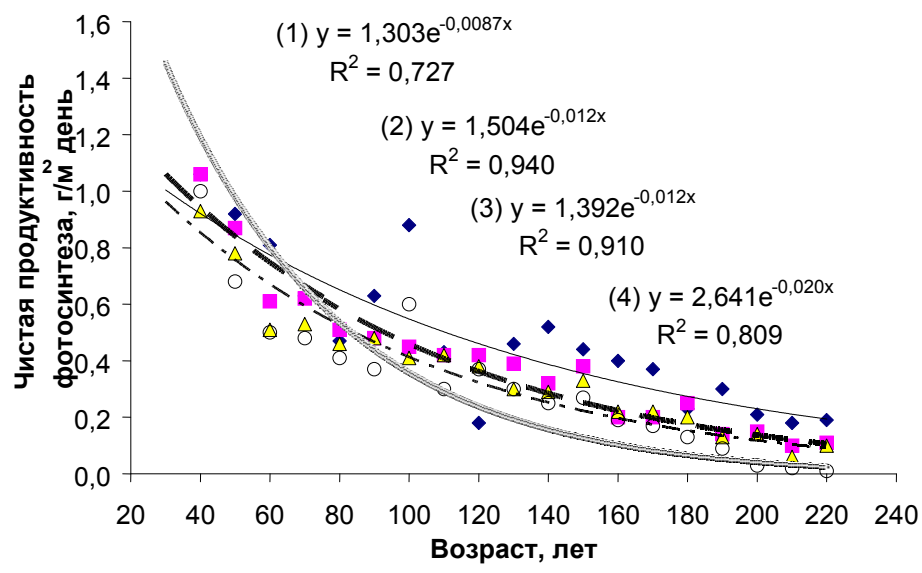


Рис. 1. Чистая продуктивность фотосинтеза, биологическая продуктивность и депонирование углерода у лиственницы в разных типах леса в онтогенезе

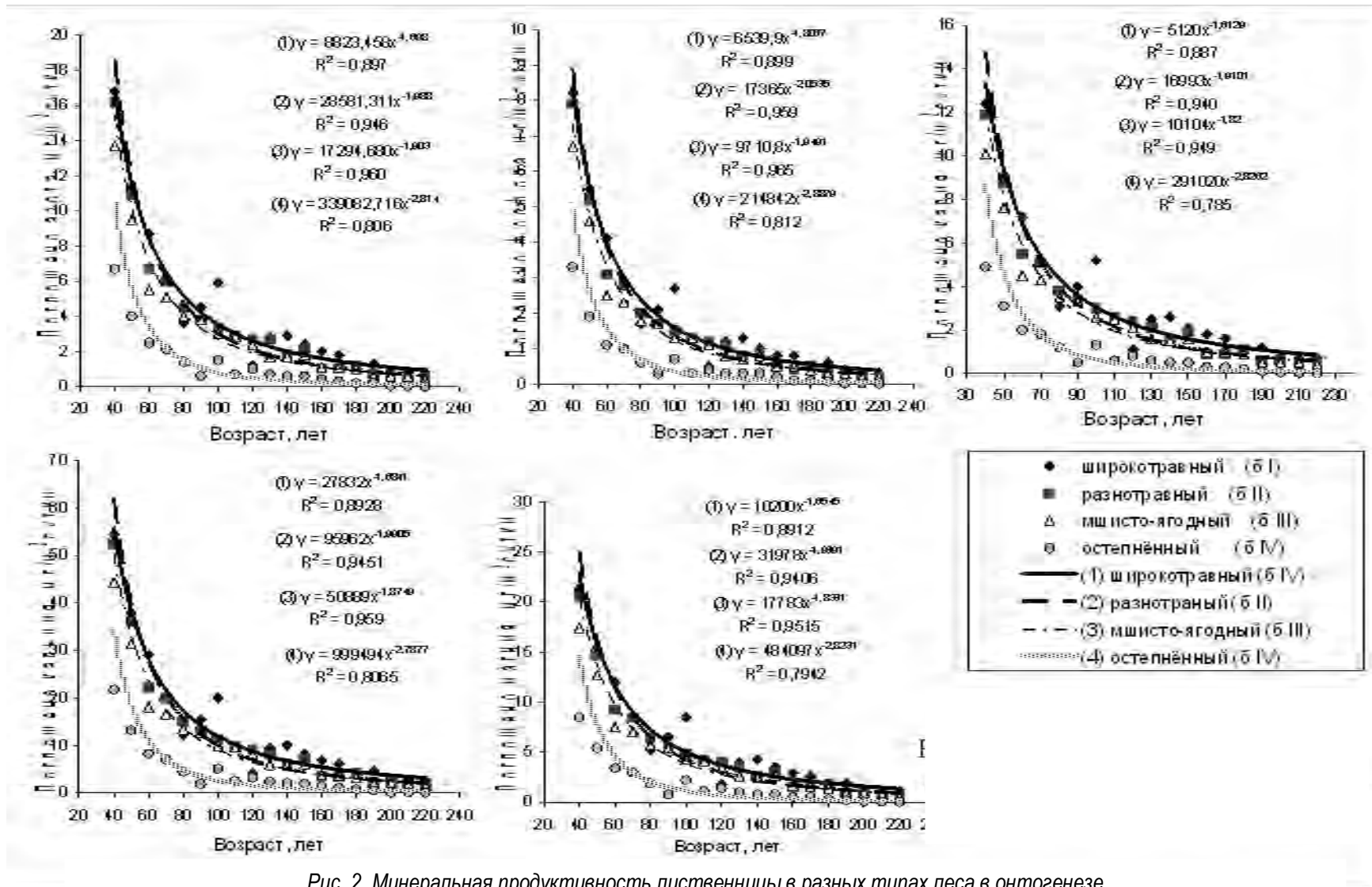


Рис. 2. Минеральная продуктивность лиственницы в разных типах леса в онтогенезе

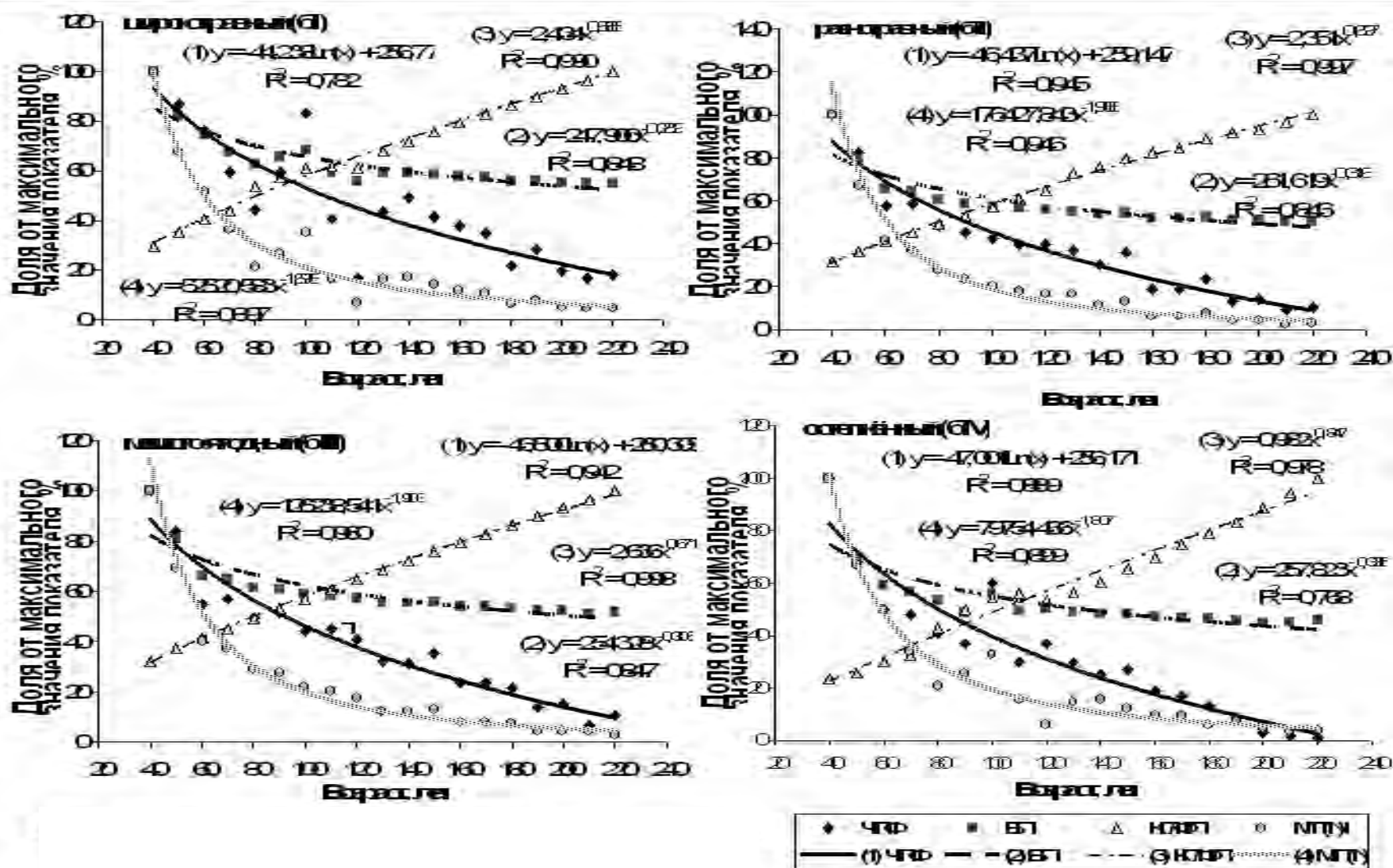


Рис. 3. Характер взаимосвязи основных физиологических показателей лиственницы в онтогенезе

Элементы по интенсивности их поглощения единицей активной поверхности корней в сутки во все возрастные периоды располагаются в порядке: Са>Mg>N>K>P. Связь поглощения N с возрастом была высокой отрицательной по всем типам леса (r = от -0,784 до -0,830). По P, K, Са и Mg по всем четырем типам также наблюдалась высокая обратная корреляция поглощения их с возрастом (r = от -0,768 до -0,812; от -0,812 до -0,863; от -0,789 до -0,836 и от -0,805 до -0,853 соответственно). С возрастом растений происходило снижение количественных значений изучаемых показателей. Небольшие колебания БП у всех бонитетов можно объяснить внутренней регуляторной деятельностью растения.

Для лучшего понимания взаимосвязи величины: БП, ЧПФ, МП (по азоту), а также отношения КП/ФП были представлены в одном масштабе в виде доли от максимальных значений, выраженных в процентах (рис. 3). Физиологические показатели сравнивались с усвоением корнями азота – ведущего элемента питания. Отношение КП/ФП в онтогенезе во всех типах леса изменялось в 3,11–4,24 раза. С возрастом во всех типах леса падала функциональная связь корневой системы с хвоей. Так, если в 40 лет у растений широколиственного типа 1 м² активной поверхности корней мог обслужить 9,3 м² поверхности хвои, то к 120 годам он мог обслужить только 2,8 м². В остепненном типе в 40 лет эта величина составила 8,8, а в конце онтогенеза – 2,8 м². Связь между КП/ФП с возрастом была высокой положительной (r = от 0,989 до 0,999), а с МП – высокой обратной (r варьировал от -0,798 до -0,849 в зависимости от типа условий). Корреляции КП/ФП с БП и ЧПФ также были отрицательными (r варьировал соответственно от -0,723 до -0,828 и от -0,852 до -0,944). В условиях нарастающей нехватки минеральных элементов в течение онтогенеза во всех типах леса корневая система не могла активизировать поглотительную активность, и для улучшения условий питания на уровне организма смещалось соотношение КП/ФП в пользу корней, что позволяло в течение длительного времени обеспечить надземную часть дополнительными количествами элементов для поддержания основного процесса питания – фотосинтеза. Поэтому при низкой обеспеченности растений элементами увеличение ростовой реакции корней для освоения новых горизонтов почвы является ответной неспецифической адаптивной реакцией. При растущей 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 0,910 до 0,974 и от 0,979 до 0,998 соответственно для I–IV бонитетов). Тем не менее, падение БП происходило более медленными темпами, чем МП и ЧПФ (см. рис. 3). 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, Са и Mg.

Выводы

1. Чистая продуктивность фотосинтеза, количество депонированного углерода и минеральная продуктивность лиственницы сибирской были максимальными в широколиственном типе лесорастительных условий и падали пропорционально ухудшению условий в 5,9–100,0, в 7,2–62,0 и от 17,7–27,3 до 330,0–490,0 раза соответственно. Биологическая продуктивность растений в изучаемом возрастном периоде изменялась во всех бонитетах в 1,8–2,2 раза. Резкое падение БП наблюдалось к 70–80 годам, после чего она снижалась крайне медленно.

2. Во всех типах леса в онтогенезе отмечена высокая положительная корреляционная зависимость между поглощением корнями азота и ЧПФ и БП (r = от 0,918 до 0,964 и от 0,988 до 0,997 соответственно). При сравнении величин ЧПФ и БП с поглощением P, K, Са и Mg результаты были близкими с азотом.

3. В условиях ухудшения питания с возрастом увеличение КП относительно ФП является неспецифической адаптивной реакцией, позволяющей растению за счет дополнительного минерального питания 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 агроприемов, повышающих продуктивность растений.

Литература

1. Бессчетнов В.П., Лебедев Е.В. Фотосинтез и биологическая продуктивность лесобразующих пород Волго-Вятского региона // Актуальные проблемы лесного хозяйства и рациональное использование ресурсов Нижегородской области / НГСХА. – Н. Новгород, 2002. – С. 107–116.
2. Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. – 2000. – № 1. – С. 69–71.
3. Болондинский В.К. Исследование зависимости фотосинтеза от интенсивности солнечной радиации, температуры и влажности воздуха у растений карельской березы и березы повислой // Тр. Карельского науч. центра РАН. – Петрозаводск, 2010. – № 2. – С. 3–9.
4. Географический энциклопедический словарь: Географические названия. – М.: Сов. энцикл., 1983. – 528 с.

5. Ильин В.Б. Элементарный химический состав растений. Факторы его определяющие // Изв. Сиб. отд. АН СССР. Сер. биол. науки. – 1977. – № 10. – Вып. 2. – С. 3–14.
6. Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1973. – 203 с.
7. Лебедев В.М., Лебедев Е.В. Морфологические, функциональные и физиологические особенности активной части корневой системы лесообразующих пород Волго-Вятского региона // Агрехимия. – 2011. – № 4. – С. 38–44.
8. Лебедев Е.В. Возможности повышения биологической продуктивности лесообразующих пород в условиях экологического потенциала Нижегородской области: дис. ... канд. биол. наук. – Н. Новгород, 2003. – 193 с.
9. Ничипорович А.А. О методах учета и изучения фотосинтеза как фактора урожайности // Тр. ИФР АН СССР. – 1955. – Т. 10. – С. 210–249.
10. Морфолого-анатомическая реакция корней лиственницы Гмелина на гипотермию / С.Г. Прокушкин [и др.] // Лесоведение. – 2000. – № 2. – С. 14–22.
11. Радов А.С., Пустовой И.В., Корольков А.В. Практикум по агрохимии. – М.: Колос, 1971. – 335 с.
12. Фотосинтетическая продуктивность *Pinus sylvestris*, *Picea obovata* и *Larix sibirica* / Г.Г. Суворова [и др.] // Ботан. журн. – 2002. – Т.87. – № 9. – С. 99–109.
13. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 763 с.
14. Ход роста основных лесообразующих пород Сибири. – Ч. 2. – Красноярск: Изд-во СибТИ, 1975. – 195 с.
15. Bruchwald A., Zasada M. Growth model for European larch (*Larix decidua* Mill.) // Sylwan. – 2010. – Vol. 154. – № 9. – P. 615–624.



УДК 504.056

Н.К. Гагарская (Игнатова), Е.Н. Чернова

МОНИТОРИНГ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ, ДУБА, ЛЕЩИНЫ И СОСТОЯНИЯ НАСЕЛЕНИЯ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В ТЕХНОГЕОСИСТЕМЕ

Исследовано содержание тяжелых металлов в листьях основных видов древесной растительности и эколого-популяционных изменений у мелких млекопитающих.

Установлено, что в связи с уменьшением аэриального поступления тяжелых металлов на ключевых участках концентрация Pb уменьшилась в 18 раз в листьях дуба и в 6 раз в листьях березы, однако у ряда элементов (Cd, Cu, Zn) она понизилась в значительно меньшей степени. Также неоднозначна реакция населения мелких млекопитающих, хотя в популяции и организмах зверьков есть признаки оздоровления, но этого недостаточно для утверждения, что экосистема очистилась полностью.

Ключевые слова: *ключевые участки, тяжелые металлы, древесная растительность, мелкие млекопитающие.*

Н.К. Gagarskaya (Ignatova), E.N. Chernova

THE ELEMENT STRUCTURE MONITORING OF BIRCH, OAK, HAZEL LEAVES AND THE SMALL MAMMAL POPULATION CONDITION IN TECHNOGEOSYSTEM

The heavy metal content in the leaves of wood vegetation main types and small mammal ecological population changes are investigated.

It is established that with heavy metal air intake reduction on key sites, the Pb concentration decreased in 18 times in oak leaves and in 6 times in birch leaves; however it decreased in a much smaller degree for a number of elements (Cd, Cu, Zn). The reaction of the small mammal population is ambiguous; though there are health improvement signs in small animal population and organisms, it is not enough to state that the ecosystem was completely purified.

Key words: *key sites, heavy metals, wood vegetation, small mammals.*

Введение. Полигоном для изучения миграции химических элементов в экосистеме и эколого-морфофизиологических исследований животных в условиях избыточного аэриального поступления тяжелых металлов (ТМ) в окружающую среду, начиная с 1972 года, была территория пади Малой Корейской [1–5]. Она расположена в п. Рудная Пристань вблизи побережья Японского моря в зоне ядра ореола рассеяния плавильного завода по пирометаллургической переработке полиметаллических руд. В течение XX столетия