

ВЕСТНИК 2(6) 2009

МАРИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит три раза в год

СЕРИЯ «Лес. Экология. Природопользование»

Учредитель:

ГОУ 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, 68-63-41

Факс (8362) 41-08-72

e-mail: vestnik@marstu.net

Редактор *Т. А. Рыбалка*

Дизайн обложки *Л. Г. Маланкина*

Компьютерная верстка

А. Ю. Желонкин

Перевод на английский язык

М. Н. Курдюмова, А. Н. Тарасова

Подписано в печать 28.09.09.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 11,8.

Тираж 500 экз. Заказ № 63/08.

Марийский государственный
технический университет

424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «Реклайн»

424007 Йошкар-Ола,

ул. Машиностроителей, 117

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)

В. П. Бесчетнов, 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, к.с.-х.н., министр экологии и природных
ресурсов Нижегородской области

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

В. И. Сухих, д-р с.-х. наук, профессор (Москва)

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

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

© Марийский государственный технический университет
Вестник Марийского государственного
технического университета, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

Слово к читателям

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Ю. П. Демаков, Э. А. Курбанов, С. А. Денисов, Л. С. Мошкина.** Лесное хозяйство Италии
Х. Фишер, С. Вагнер. Планирование лесоводственных мероприятий в условиях меняющегося климата
Д. Петтенелла, П. Гатто, Л. Секко. Плата за услуги по окружающей среде: сравнительный анализ итальянского опыта в лесном секторе
С. С. Конийнنديйк. Городское лесоводство: инновации в сотрудничестве науки и практики
Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин, А. Е. Смыков. Изменения климата и состояния лесов Республики Марий Эл в XX столетии
А. В. Биттер, С. Хертель. Планирование лесонасаждений в условиях меняющегося климата

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

- И. И. Тюхов.** Возобновляемая энергетика и лесное хозяйство для устойчивого будущего
Л. Д. Загвойская. Научные лаборатории: междисциплинарный подход к интеграции исследований и преподаванию в сфере эко-инноваций

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

- В. А. Усольцев, Е. Л. Воробейчик, Е. В. Хантемирова, И. Е. Бергман, А. Ф. Уразова.** Исследование биологической продуктивности насаждений по градиентам аэрозагрязнений: методический анализ и перспективы
А. К. Габделхак, А. А. Арсланов, М. Р. Ситдиков. Биопроductивность искусственных древостоев липы мелколистной Башкирского Предуралья
И. И. Васенев, Т. В. Раскатова. Пространственно-временная изменчивость основных параметров фонового экологического мониторинга дерново-подзолистых почв лесной опытной дачи РГАУ-МСХА
Д. Караманолис. Оценка водоохранной и биопроductивной функции лесной экосистемы

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

- Резолюция Международной конференции «Международное сотрудничество в лесном секторе: баланс образования, науки и производства»
Э. А. Курбанов. Английский язык для специалистов лесного хозяйства
Информация для авторов

CONTENTS

A word to the readers

FORESTRY

- Yu. P. Demakov, E. A. Kurbanov, S. A. Denisov, L. S. Moshkina.** Forestry in Italy
H. Fischer & S. Wagner. Silvicultural responses to predicted climate change
D. Pettenella, P. Gatto, L. Secco. Payments for environmental services: a comparative analysis of some Italian experiences in the forestry sector
C. C. Konijnendijk. Urban forestry innovations in science-practice collaboration
U. P. Demakov, M. G. Saphin, A. E. Smykov. Climate change and forest condition in Mari El in the previous century
A. W. Bitter, C. Hertel. Planning of target forest types under climate change

FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

- I. I. Tyukhov.** Renewable energy and forestry for sustainable future
L. D. Zahvoyska. Scientific ateliers: a transdisciplinary paradigm of integrating research and teaching on eco-innovations

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE EXPLOITATION

- V. A. Usoltsev, E. L. Vorobeichik, E. V. Khantemirova, I. E. Bergman, A. F. Urazova.** Studying forest biological productivity along industrial pollution gradients: methodical analysis and outlooks
A. K. Gabdelkhakov, A. A. Arslanov, M. R. Sitdikov. Bioproductivity of artificial tillet forest in the before Ural region of Bashkiria
I. I. Vasenev, T. V. Raskatova. Spatial-temporal variability of the main characteristics of background ecological monitoring of sod-podzolic soils in the pilot forest Russian state agricultural university - Moscow agricultural academy
D. Karamanolis. Evaluation of forest ecosystem for water and wood production

DATES. EVENTS. COMMENTS

- Resolution of the International conference «International cooperation in the forest sector: balancing education, science and industry»
E. A. Kurbanov. English for foresters
Information for the authors

Слово к читателям

Уважаемый читатель, настоящий выпуск «Вестника МарГТУ» в серии последних его номеров является не совсем обычным. В настоящий выпуск вошли статьи европейских и отечественных ученых, принимавших участие в международной конференции «Международное сотрудничество в лесном секторе: баланс образования, науки и производства», состоявшейся 3-5 июня 2009 в Йошкар-Оле в рамках Европейского проекта IB_JER-26038-2005 TRAN-CB-FOR «Тренинг, расширение международного сотрудничества и развитие потенциала для устойчивого лесопользования в Поволжье». Кроме того, редакционная коллегия журнала и организационный комитет конференции решили опубликовать статьи европейских ученых на английском языке, не прибегая к переводу на русский язык.

Хочется отметить, что в конференции приняли участие ведущие специалисты министерств лесного хозяйства Поволжья РФ, деканы лесохозяйственных вузов, ученые и преподаватели из университетов и техникумов России, представители университетов Хельсинки (Финляндия), Аристотеля (Греция), БОКУ (Австрия), Дрездена (Германия), Падуи (Италия), Национального лесного университета Украины, Ташкентского института ирригации и мелиорации (Узбекистан), Государственного аграрного университета Молдавии и Лесного научно-исследовательского института Венгрии. Конференция проводилась при поддержке Европейской комиссии по образованию и культуре, Европейского института леса (Финляндия), Международного союза лесных научных организаций (IUFRO), программы Фулбрайта (США), Министерства лесного хозяйства Республики Марий Эл, Марийского государственного технического университета. Кроме того, в рамках конференции был проведен семинар-совещание «Интеграция учебных заведений лесного профиля Приволжского федерального округа для совершенствования научного, методического и кадрового обеспечения устойчивого управления лесами».

По результатам пленарных и секционных докладов конференции для публикации были выбраны наиболее интересные и актуальные работы. В предложенных статьях отечественных и европейских ученых затрагиваются проблемы: глобального потепления и биологической продуктивности лесных насаждений, экологического мониторинга, альтернативных источников энергии для лесничеств, городских лесов, платы за недревесные полезности леса в Италии, планирования роста и реакции лесных насаждений в условиях изменения климата в Германии, эко-инноваций и обучения, международных проектов в области лесного хозяйства.

Темы исследований, рассматриваемые в данном выпуске журнала, подчеркивают общность интересов и вопросов, которые волнуют лесоводов всего мира, решать которые, так или иначе, придется всем вместе. Поэтому международное сотрудничество в области лесного хозяйства, взаимопонимание растущих угроз меняющегося климата, совместные научные исследования, обучение/переобучение специалистов являются ключевыми моментами на таких встречах. Коллектив Марийского государственного технического университета, активно участвуя в международном сотрудничестве с ведущими европейскими лесными вузами, продолжает работу по интеграции в общеевропейское образовательное пространство и повышению академической мобильности студентов и преподавателей. Участие в проектах Темпус позволило коллективу МарГТУ улучшить материальную базу, повысить квалификацию своих сотрудников за рубежом и активно участвовать в формировании лесной политики в Поволжье РФ. Приглашаем вас ознакомиться с результатами нашей работы и включиться в работу консорциума.

Координатор проекта
TEMPUS IB_JEP-26038-2005
Э. А. Курбанов

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*611 (450)

Ю. П. Демаков, Э. А. Курбанов,
С. А. Денисов, Л. С. Мошкина

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО ИТАЛИИ

Приведены сведения о лесах и лесном хозяйстве Италии, лесовосстановлении, плантационном лесовыращивании, деревообработке и рекреационном использовании лесов.

Ключевые слова: лесное хозяйство, управление лесами, лесные плантации, естественные леса, лесовосстановление, деревообработка, биоразнообразие, рекреационное использование лесов.

Леса Италии занимают 10,4 млн. га, 59% из них горные и 36% расположены на холмах, 5% представлены лесами на равнинных территориях, в том числе 3% в качестве производственных плантаций. Состав и производительность лесов, их функциональное назначение определяются многими факторами, но основными остаются особенности рельефа и климата.

Около 80% территории Италии занимают горы, их предгорья и холмы. На севере возвышаются Альпы, которые состоят из множества горных массивов и хребтов, разделенных поперечными и продольными долинами. Наиболее высоким является западный массив, с высочайшими покрытыми ледниками вершинами Альп: Монблан (4807 м), Монте-Роза (4634 м), Червина (4478 м). На территории северных провинций высоты составляют 2000 м, а в западных приморских районах – до 1000 м.

Итальянские реки короткие. Только в Северной Италии существует развитая система рек с круглогодичным питанием ледниковыми талыми водами. Почти все они принадлежат к бассейну реки По.

В результате вытянутости гористого рельефа Италии на 1100 км с севера на юг ее климат сильно варьирует: от умеренно теплого до холодного. Температура зимой в некоторых горных долинах опускается до минус 35°C. В горах часты обильные снегопады. Снеговая линия находится на высоте 2800–3200 м. Максимальное количество осадков (до 3000 мм) получают восточные склоны Западных Альп, перехватывающие влажные ветры.

Леса Италии из-за различий климата, подстилающих пород и сильно пересеченного гористого рельефа существенно различаются по своей структуре между отдельными районами страны, что значительно усложняет управление ими, так как требует в каждом из них сугубо специфических подходов.

На территории страны выделено пять природных зон. На равнинах распространены широколиственные леса, на Апеннинах и островах – леса и кустарники средиземноморского типа. На побережье Италии и в горах до высоты 500–800 м над уровнем моря тянется пояс вечнозеленых лиственных лесов и кустарниковых зарослей [1]. Лесная растительность этого пояса сильно изменена интенсивными вырубками, пожарами и внедрением культур хвойных пород, тополей и эвкалиптов. Это вторичные леса, представленные вечнозелеными кустарниками и невысокими деревьями: каменного и пробкового дубов (*Quercus ilex*, *Q. suber*), фисташки (*Pis-*

tacia lentiscus, *P. terebinthus*), земляничника крупноплодного (*Arbutus unedo*), вереска древовидного (*Erica arborea*), лавра благородного (*Laurus nobilis*), держидерева (*Paliurus spina-christi*), ладанника (*Cistus monspeliensis*), дикой маслины (*Olea europaea ssp. sylvestris*). Местами сохранились естественные рощи инжира (*Ficus carica*) и карликовой пальмы (*Chamaerops humilis*).

На склонах гор на высоте 500...1400 м тянется пояс летне-зеленых лиственных лесов, где произрастают высокопроизводительные дубовые, каштановые и буковые насаждения. В дубравах преобладают дуб пушистый (*Quercus pubescens*), скальный (*Q. petraea*) и австрийский (*Q. cerris*). В наиболее влажных местах севера Италии распространен дуб черешчатый (*Q. robur*), а в сухих – дуб густой (*Q. frainetto*) и крупночешуйчатый (*Q. macrolepis*). Часто встречаются бук европейский (*Fragus sylvatica*), клен остролистный (*Acer platanoides*), явор (*A. pseudoplatanus*), ясени: белый (*Fraxmus ornus*) и круглолистный (*F. rotundifolia*). Примесь образуют вяз пробковый (*Ulmus suberosa*), шершавый (*U. scabra*) и берест (*U. carpmifolia*). Каштановые леса представлены преимущественно искусственными насаждениями каштана благородного, выращиваемого ради плодов. Буковые леса по составу как чистые, так и с участием хвойных пород: ели европейской (*Picea abies*), пихты белой (*Abies alba*). В долине реки По сохранились древостои из ольхи черной (*Alnus glutinosa*).

В итальянских Альпах на высоте 1400...2000 м над уровнем моря существует пояс горных хвойных лесов, состоящих из чистых или смешанных древостоев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), ели европейской, пихты белой, лиственницы европейской (*Larix europaea*), к которым иногда примешивается бук. Насаждения характеризуются высокой производительностью. Запас стволовой древесины составляет 600...800, а в ряде случаев даже 1000 м³/га. Состояние лесов, как правило, хорошее, но кое-где они повреждаются короедом типографом (*Ips typografus*), ветровалами и снежными лавинами. Верхнюю границу леса в северной Италии образуют низкорослые лиственничники, ельники, сосняки или заросли соснового стланика.

Территория Италии разделяется на 20 областей, которые подразделяются, в свою очередь, на 93 провинции, включающие 8000 коммун, каждая из которых имеет свой демократично избираемый муниципалитет, законодательство, бюджет и свою полицию, осуществляет устойчивое управление всеми природными и трудовыми ресурсами на своей территории, гибко сочетая преимущества коллективной и частной формы собственности в достижении наивысшего социального эффекта. Леса, луга, а также предприятия по переработке продукции сельского и лесного хозяйства являются собственностью коммун, принося определенный доход, который идет не только на содержание аппарата управления и благоустройство населенных пунктов, но и распределяется на социальные нужды. Кроме того, каждый член коммуны получает от этих доходов определенные дивиденды, даже не участвуя напрямую в коллективном труде, а осуществляя свой бизнес в сфере торговли и услуг на основе частной собственности. Членом коммуны человек становится, прожив на её территории не менее 20 лет.

Многообразие выполняемых лесами функций регулируется гибким управлением лесами на уровне провинций и коммун. Основной проблемой лесного управления является частная собственность. Согласно итальянскому законодательству, наследство делится в равных долях между наследниками. Поэтому от поколения к поколению идет дробление частных лесов (сегодня уже многие имеют леса на площадях менее 1 га). В 2007 году свыше 60% лесов относилось к частной собственности. Остальные леса принадлежат коммуна (муниципалитетам).

Преобладают порослевые низкоствольные насаждения. На долю высокоствольных насаждений приходится 40% лесов. Общий запас древесины в лесах составляет 354 млн. м³, а возможный объем годичного лесопользования – около 14 млн. м³, фактический объем лесозаготовок в последние годы составляет 11 млн. м³. Собственные заготовки древесины покрывают приблизительно 60% потребности страны, поэтому ежегодно в Италию ввозится около 5,5 млн. м³ деловой древесины и более 0,7 млн. м³ дровяной. Эксплуатационные леса занимают более 5 млн. га, из которых хвойные составляют 21%. Лиственные леса состоят в основном из ценных в хозяйственном отношении пород деревьев: дуба, каштана и бука.

Управление лесами Италии осуществляется уже более 300 лет. Во многих случаях документы лесоустройства сохранились более чем за 200-летний срок. В настоящее время суще-

ствует определенная гармония отношений общества с природой, достигаемая за счет комплексного управления природопользованием на уровне муниципалитетов. Инициатива принятия управленческих решений идет в этом случае не сверху, а от управления коммуны, заинтересованного не только в сохранении своих природных ресурсов, но и преумножении их для своих потомков. Лесное хозяйство в коммунах давно ведется на основе лесных планов, которые разрабатывают непосредственно сами же специалисты муниципалитетов. Лесные планы пересматриваются каждые 10 лет и после их утверждения парламентом муниципалитета приобретают форму закона, за выполнением всех пунктов которого ведется строгий контроль.

Ежегодный объем заготовки древесины по стране составляет порядка 70% текущего прироста. Соотношение «заготовка : прирост» – самая низкая в Европе. Бюджетное финансирование лесохозяйственных работ в государственных лесах минимально.



Рис. 1. Государственная лесная полиция

Выращивание деловой древесины в Италии сопряжено с проблемой большого количества низкосортной древесины, которую дает порослевой лес, поэтому в стране развито плантационное лесовыращивание.

Плантационное выращивание древесины для обеспечения целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) страны началось еще до второй мировой войны в 1920-е годы, когда стали создавать лесные плантации тополей. В настоящее время «лесными полями» тополей представлены 3% лесов. Они дают 50% качественной деловой древесины для ЦБП. В основном это черный американский тополь, к возрасту 10...14 лет имеющий средний диаметр 35 см и запас древесины 330 м³/га (размещение 5х6, 5х7, 6х6 м). Основная задача на такой плантации – получить бревно длиной 4 м при диаметре не менее 35 см. Плантации создаются клонированием и созданием чистых по составу насаждений, но при этом возникает много проблем. Происходят массовые заболевания и размножение вредителей тополей, вследствие чего вынужденно проводятся активные меры по химической защите. В связи с этим фермеры, занимающиеся выращиванием плантаций тополей, отказываются от производства древесины и переходят на сельскохозяйственные культуры.

Решение возникшей проблемы сегодня решается созданием плантаций смешанных древесостоев. В условиях благоприятного климата и почв плантации создаются из смеси древесных пород. В составе таких плантаций участвуют до 10 древесных видов. Все они играют разную роль в процессе выращивания древесины. Так, грецкий орех, вишня, ясень, клен являются целевыми, древесина которых оценивается более чем в 1000 евро за 1 м³. Сопутствующие поро-

Численность штата работников лесного хозяйства в коммунах сопоставима с прежними российскими лесничествами. Так, в коммуне Magnifica, где леса занимают около 13 тыс. га (лесистость территории составляет 65%) и проживает около 20 тыс. человек, управление лесным хозяйством осуществляют три ведущих специалиста с учеными степенями и 9 инспекторов. На летний период дополнительно нанимают четырех инспекторов по контролю за сбором грибов. Контроль за лесонарушителями дополнительно ведет вооруженная государственная лесная полиция (рис.1), осуществляющая патрулирование территории или выезжающая на места по сигналам населения.

ды (тополь, ива, ольха черная и красная), а также кустарники, оттеняющие ствол главных пород, дают в процессе ухода за главной породой дополнительную биомассу для топлива.оборот рубки целевых пород достигает 40 лет, тогда как сопутствующих 5...15 лет (80/300 шт./га). В первые 2...5 лет за плантационными посадками проводятся рубки ухода и полив. В конечном итоге должны быть получены деревья главной породы с диаметром ствола 40 см на 1/3 его высоты.

На современных промышленных плантациях культивируется около 60 видов эвкалипта и сортовые тополя, средний годичный прирост насаждений которых при обороте рубки 7–12 лет составляет 8...20 м³/га (иногда до 50 м³/га). Тополевые «поля» в долине реки По занимают площадь около 83,4 тыс. га и дают 60% заготовки товарной древесины (1,8 млн. м³). Остальные 40% заготавливаются в лесах. В перспективе, к 2050 году около 75% древесины будет заготавливаться на плантациях.

В лесах естественного происхождения рубки проводят в основном выборочные, что позволяет отказаться от искусственного лесовосстановления. Отбор деревьев в рубку проводят работники лесного отдела муниципалитетов, нанося, как это принято и в России, клеймо на затески у основания ствола и на высоте 1,3 м от шейки корня. Интенсивность выборки деревьев составляет 15...20%, сроки повторяемости – 15...20 лет. Отведенные для рубки делянки выставляются на аукцион, стартовая цена на котором зависит от многих факторов: спроса на древесину, транспортной доступности участка, качества леса. Количество претендентов часто составляет 5...7, но в ряде случаев заявок на аукционы вообще не подается из-за отсутствия спроса. Лесовладельцы вынуждены в этом случае вновь объявлять аукцион и снижать стартовую цену на делянку. Жесткая попенная плата на древесину отсутствует и цену определяет рынок. Заготовка леса ведется аккуратно с соблюдением мер по сохранению подроста и целостности почвенного покрова, что сделать в горных условиях крайне сложно, но технически осуществимо. Древесину трелюют сортиментами воздушно-трелевочными установками. Складирование ведется вдоль дорог общего пользования. Сучья и вершинник используют на дрова или перерабатывают на щепу с помощью передвижных рубильных установок.



Рис. 2. Посадки бука и ели на месте гибели древостоя. Видны конусы защитных сеток вокруг саженцев бука

Сплошные рубки проводятся лишь там, где древостои имеют серьезные повреждения ветром, снегом, болезнями и вредителями. Лесовладельцы и лесозаготовители большое внимание уделяют сертификации своей деятельности, проводя её по двум схемам: Паневропейской и FSC.

Лесовосстановление. Лесные культуры, главным образом хвойные, широко создавались лишь в послевоенное время и оказались неэффективными из-за высокой стоимости создания. Густота создаваемых культур была во многих случаях избыточной, а лесоводственные уходы

в них не проводились, что привело в настоящее время к снижению жизнеспособности насаждений и возникновению в них очагов корневой гнили. Ошибки наших коллег итальянцев сегодня повторяют лесоводы в России [2, 3].

Условия для возобновления ели хорошие и подрост ее, как правило, вполне достаточно для воспроизводства леса после заготовки древесины. Леса, не относящиеся к производственным плантациям, восстанавливаются за счет подроста. Искусственное лесовосстановление в Италии проводят лишь в исключительных случаях (массовые ветровалы, снеголомы, повре-

ждения болезнями и насекомыми). Использование техники на каменистых горных склонах нерентабельно и сложно (рис. 2). Для защиты саженцев бука от диких копытных животных используют покрытие из синтетической сетки. Как правило, делают смешанные негустые елово-буковые посадки вручную, используя крупномерные саженцы.

Италия – один из **крупнейших в мире деревообработчиков** (рис. 3) и производителей мебели. Деревообработка составляет 3...4% от ВВП Италии. Переработка древесины глубокая и практически безотходная. Развита вторичная переработка древесных отходов, включая старую мебель и др. В дело идет всё: кора, ветви, опил и даже зола после сжигания в топках ТЭС отходов деревообработки. Деревообработкой в стране занимаются давно, что было связано со строительством торгового и военного флота на верфях крупных купеческих городов Венеции и Генуи. Вся Северная Италия находилась под влиянием и покровительством этих городов-государств и поставляла им большое количество древесины. Лес долгое время был основным источником дохода жителей этой части Италии. Древесина использовалась также для сооружения домов, которые в сельской местности были, как и в России, деревянными. В современной Италии сельские дома строятся из камня, но отношение к дереву, широко используемому во внутренней отделке помещений, у жителей осталось по-прежнему любовно-трепетным.



Рис. 3. Заготовленная и переработанная древесина в коммуне Азиаго

В лесах широко ведется заготовка **недревесной продукции**: пробки (ежегодно около 14 тыс. т), плодов съедобного каштана (280...290 тыс. т), желудей дуба (100 тыс. т), сена (650...700 тыс. т), а также орехов, грибов и лекарственных растений. Для сбора этих продуктов, величина ежегодного изъятия которых строго лимитируется, необходимо обязательное наличие лицензии или временного разрешения, выдаваемого на платной основе отделами лесного хозяйства муниципалитетов. В некоторых регионах страны для любителей собирать грибы введены экзамены, подобные охотминимуму в России. Стоимость разрешения для сбора грибов одному человеку из числа неместных жителей в течение одних суток составляет порядка 5 евро (такова же стоимость в магазине 100 г сушеных белых грибов). При этом нельзя превышать норму, которая составляет для сборщика 1 кг грибов одного вида или же 2 кг грибов разных видов. Контроль за сбором продуктов побочного пользования лесом, который осуществляют как работники лесной охраны муниципалитетов, так и государственная лесная полиция, довольно строгий. В Италии, к тому же, большинство граждан законопослушно. Доход от недревесной продукции леса в 3...5 раз выше, чем от пользования древесиной.

Биологическое разнообразие, как и разнообразие природных условий и ландшафтов, очень велико. В Италии только растений насчитывается около 5800 видов (78% всего видового разнообразия Европы). Одним из хранителей этого разнообразия является старейший ботанический сад Европы, принадлежащий Университету Падуи. Коллекцию растений начали формировать в 16 веке. Ввиду ограниченности площади сада, исключительно бережно используется

каждый сантиметр земли. Каждое растение имеет этикетку с названием и кратким пояснением, в том числе и для слабовидящих.

Богата и фауна страны, в состав которой входят благородный олень, косуля, серна, а также многие виды, встречающиеся в российских лесах: бурый медведь, заяц, лиса, глухарь, тетерев и др. Правительство Италии уделяет большое внимание сохранению биологического разнообразия. В стране созданы национальные парки и заповедники общей площадью более 200 тыс. га, организованно и целенаправленно проводится работа по воспитанию бережного отношения итальянцев к природе.

Рекреационное использование лесов как социальный фактор и бизнес развиты практически повсеместно. Для частных собственников на лес чаще всего выгоднее заниматься рекреационным использованием, чем заготовкой древесины. В любом случае частный лес – целевой лес. Экономическая выгода является здесь основой для решения о направлении использования леса, иначе «зачем заботиться о том, что не дает доход?».

Роль недревесной продукции для собственных нужд населения настолько высока, что использование частных лесов только для сбора грибов, в том числе особо почитаемых трюфелей (плата за них особая), ягод, каштана съедобного (деликатес, мука и хорошо хранящийся джем), прогулок и охоты, приносит их владельцам доходы, ощутимо превышающие прибыль от заготовки древесины. Стоимость экологически чистых продуктов, собранных в лесу, высока и ценится населением. Защитные услуги леса оцениваются также высоко. Так, доходы от лесов, защищающих воды, оцениваются в 133 доллара с гектара против 104 долларов при использовании этих же лесов при заготовке древесины. Во многих муниципалитетах Италии существуют небольшие природные парки, которые служат рекреационными объектами (рис. 5) и территориями, где организовано ненавязчивое экологическое просвещение населения всех возрастов, детские познавательные площадки в местах отдыха в лесах коммун, где особое внимание уделяется экологическому воспитанию детей (рис. 5, 6).



Рис. 4. Тропа приключений в еловом лесу



Рис. 5. Место для отдыха
«Почувствуй лес», «Следы в лесу»



Рис. 6. «Деревянный» город.
Познавательная выставка
«Что можно сделать из древесины»

Опыт Италии по рациональному использованию ресурсного потенциала лесов и устойчивому управлению лесным хозяйством члены российской делегации [4] планируют широко использовать в производственной и преподавательской деятельности.

Список литературы

1. Букштынов, А. Д. Природа мира. Леса / А. Д. Букштынов, Б. И. Грошев, Г. В. Крылов. – М.: Мысль, 1981. – 316 с.
2. Романов, Е. М. Состояние и проблемы воспроизводства лесов России / Е. М. Романов, Н. В. Еремин, Т. В. Нуреева // Вестник МарГТУ. Серия «Лес. Экология. Природопользование», – 2007. – №1. – С. 5-14.
3. Ермоленко, А. А. Ситуация с лесовосстановительными работами в субъектах Российской Федерации, проблемы и пути решения / А. А. Ермоленко // <http://www.rosleshoz.gov.ru/media/appearance/> [В Интернете] // <http://www.rosleshoz.gov.ru/>. – ФГУП «Рослесинфорг» и компанией Метод.ру при участии Агентства "Стратег". – 25 февраль 2009.
4. Курбанов, Э. А. МарГТУ в гостях у старейшего университета Европы / Э. А. Курбанов // Вестник МарГТУ. Серия «Лес. Экология. Природопользование». – 2008. – № 1(2). – С. 91-94.

Статья поступила в редакцию 22.01.09.

Yu. P. Demakov, E. A. Kurbanov, S. A. Denisov, L. S. Moshkina

FORESTRY IN ITALY

The data on forests and forestry in Italy, reforestation, forest plantations, wood processing technologies and recreational use are given in the article.

Key words: *forestry, forest management, forest plantations, native forests, reforestation, wood processing technology, biodiversity, recreation.*

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты МарГТУ. Область научных интересов – устойчивое управление лесами, биогеоценология, дендроклиматология, лесная энтомология. Автор более 190 публикаций. E-mail: DemakovYP@marstu.net.

КУРБАНОВ Эльдар Аликрамович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства МарГТУ, руководитель Центра устойчивого управления лесами. Область научных интересов – устойчивое управление лесами, депонирование углерода лесными экосистемами, леса Киото. Автор более 70 научных и учебно-методических работ. E-mail: eldar@marstu.net.

ДЕНИСОВ Сергей Александрович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – лесоведение и лесоводство, биология и экология древесных пород, создание устойчиво функционирующих лесных экосистем. Автор более 130 научных и учебно-методических работ, в том числе монографий. E-mail: DenisovSA@marstu.net.

МОШКИНА Любовь Сергеевна – аспирантка кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – устойчивое управление лесами, депонирование углерода лесными экосистемами, леса Киото. Автор пяти публикации. E-mail: MoshkinaLS@marstu.net.

UDC 630*6

H. Fischer & S. Wagner

SILVICULTURAL RESPONSES TO PREDICTED CLIMATE CHANGE

Increased concentrations of greenhouse gas emissions are causing a general warming of the global climate and altering the conditions for life on Earth. Changes in climate will likely have a considerable impact on forest structure and its resilience. The range of tree species, the interspecific competition and the interaction between species may alter. The paper compiles and summarizes already existing knowledge about observed and projected impacts of climate change on forests and likely responses of trees and stands with special respect to Germany and reviews silvicultural options for management on stand level to adapt forest stands to climate change.

Key words: *climate change, silviculture, impacts on forests, biomass, forest management strategies, forest conservation.*

Introduction. Over the last century, global mean surface temperature has risen by about 0.6 °C [1]. Although not unprecedented, this rate of warming is likely to have been the greatest of any century in the last thousand years. Data collected over the past 150 years by 188 members of the World Meteorological Organization (WMO¹) lead to an unmistakable conclusion: the observed increase in global surface temperatures is a manifestation of global warming. It has accelerated particularly in the past 30 years. Notably, the current period is one of exceptionally rapid warming [2].

Changes in climate variability and extremes of weather events have received increased attention in the last decades. By now we know that climate is continuously changing, with some periods comparatively stable, and others with great variation [3]. There is a number of factors that drive climate variability (changes in Earth's orbit, changes in solar output, sunspot cycles, volcanic eruptions, and fluctuations in greenhouse gases and aerosols). These factors operate over a range of time scales but, when considered together, effectively explain most of the climate variability over the past several thousand years. The global warming has been attributed to both natural and human forcings, that is undeniable, but most of the warming observed over the last 50 years is caused and attributable to human activities [4]. The recent changes in climate can only be explained when the effects of increasing atmospheric concentrations of greenhouse gases are taken into account. But understanding changes in climate variability and climate extremes is made difficult by interactions between the changes in the mean and variability [5].

It is not our intent to figure out possible causes for the current situation more in detail. In this context we would like to refer to the relevant publications of the IPCC [6]. Simply essential is the fact that the scientists have evidence for the climate changing and that we do not longer have a controversy discussion among experts. Therefore silviculturists must be aware of the implications of climate change in order to establish stands being adaptable, sustaining health and productive in the future.

Uncertainty in predicting.

A) Uncertainty in predicting the most likely scenario

Globally averaged surface air temperature likely increases during 21st century under different scenarios. Figure 1 shows the time-series of globally averaged annual mean surface air temperatures from all the IPCC-experiments [6]. Compared to the temperature at the end of 20th century (years 1990–1999, black curve), the surface air temperatures at the end of 21st century (years 2090–2099) is predicted to increase by 3.7, 2.5 and 1.5°C under the A2, A1B and B1 scenarios, respectively. Furthermore, the surface air temperature keeps increasing even under the stabilized radiative forcings beyond year 2100 at all the greenhouse gases stabilization levels. Under the overshoot scenarios, the glo-

© Fisher H. & Wagner S., 2009.

¹ The specialized agency of the United Nations and authoritative voice on the state and behaviour of the Earth's atmosphere

bally averaged surface air temperature decreases to almost the same level as the B1 level. The A2, A1B and B1 scenarios show respectively 3.7, 2.5 and 1.5°C. The surface temperature keeps increasing even after the greenhouse gas concentration (GHG) is stabilized, and it takes very long time for climate system to be stabilized (fig. 1 and 2).

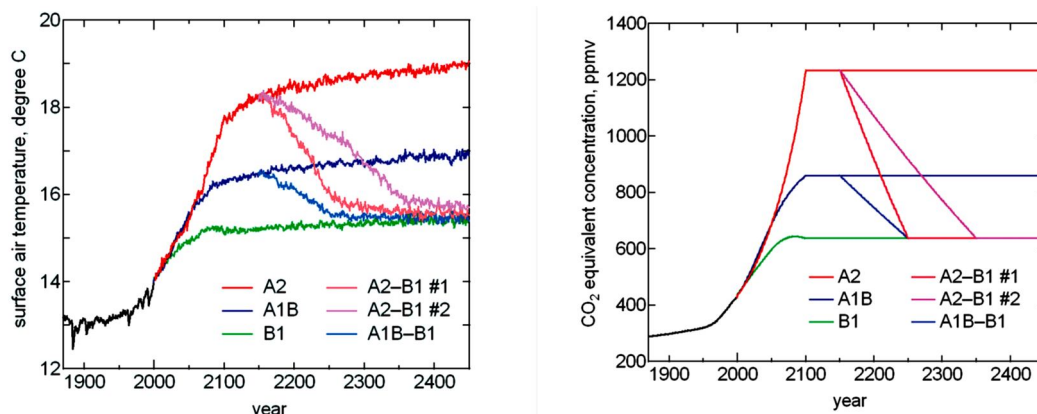


Fig. 1 and 2. Time-series of globally averaged annual mean surface air temperature (left) and GHGs concentration profiles used in numerical experiments (right); (mod. IPCC, 2007)

Even if these and other climate forecasts seem to be better and better - intensity and frequency of disaster occurrences are still open and interaction with other dynamical environmental factors are doubtful (see C).

B) Regional climate scenarios for Germany: downscaling from global scale to local scale

In principle, the simulation of climate scenarios is performed at global scale using a global circulation model because atmospheric system is a single system. Even though there are efforts towards developing custom-fit climate scenario at global scales, most of today global climate models still generate future climate scenarios at large grid size of several hundred kilometres.

In contrast, performing silvicultural strategies in principal is a task on stand level. Therefore, downscale process to get information regarding climate change at specific locations for specific forest sites is required for the assessment of climate change impact. Up to now the regional climate models are even more uncertain, the more the smaller the scale is. Up to now we cannot await an accurately fitting climate model on local scale. Nevertheless, an adaptation of climate planning data in forestry is needed, i.e. climate zones (= update).

Anyway, we will never have a model predicting extreme single weather condition on the scale of a forest stand. Ergo the situation of uncertainty will be a long-lasting basic condition for the manager responsible for local forest stands.

C) Interactions are doubtful

In addition to climate change a dramatic increase in nitrogen inputs over the last century has resulted in major changes to the German ecosystems including changes in plant species dominance and diversity, increases in plant productivity and altering conditions of site-specific competition for natural regeneration of trees. Such changes are comparable in scale to those of increased temperature and CO₂. The clearing of forests, draining of wetlands and the cultivation of forest soils for agriculture lead to significant increases in atmospheric CO₂ as organic carbon in the soil and above ground biomass was decomposed [7]. Although ecologists acknowledge the importance of these changes, a thorough understanding of interactions between nitrogen deposition and global change and the mechanisms responsible are lacking [8].

D) changes in interspecific competition

Another uncertainty regards the outcome of interspecific competition. The evaluation of every today's interspecific competition has a limited significance for future conditions because the today's analysis is retrospective in every time.

E.g: the response to warming temperatures is typical. As a result, new interspecific relationships are likely to develop where species with life cycles responding to temperature interact with species con-

trolled by photoperiod [9, 10]. Some investigations show, that the competition between evergreen plants (like *Rubus fruticosus*) and beech seedlings alters under the conditions of climate change because longer growing seasons are advantageous for the photosynthetic potential of competing vegetation [11].

Likely environmental changes and potential Ecosystem responses. Most models agree that the warming will be greatest over eastern Europe in winter and over western and southern Europe in summer. In northern Europe the increase in temperature is similar in all seasons. The temperature changes are coupled with increases in mean annual precipitation in northern Europe and decreases further south.

According to the results of Christensen et al. [12] the temperature changes are coupled with an increase in mean annual precipitation in northern Europe and a decrease further south. Regarding extreme events, the yearly maximum temperature is expected to increase more in south and central Europe than in northern Europe. In central, southern and eastern Europe, the summer warming will be more closely connected with higher temperatures on warm days than with a general warming while much of the warming in winter is connected with higher temperatures on cold days [13].

Under many climate change scenarios, increased temperature and increased frequency of summer drought may result in more stressful forest environments owing to, among other reasons, an increased evaporative demand combined with limited soil moisture [14]. But intensity and serious consequences depend on the site! Namely the more the site is continental the more serious the consequences are.

The predicted environmental changes will meet established forest ecosystems. Under some predictive scenarios, changes in climate may occur that will exceed the capacity of existing forest tree populations to adjust physiologically and developmentally. Actual impacts will depend upon the physiological adaptability of trees.

A) Direct ecosystem responses: vitality of tree species and outcome of interspecific competition

The range of European forests is limited primarily by climate, either through moisture availability or through temperature (both, absolute amounts and seasonal distributions) [15]. Each tree species has a more or less specific geographical distribution that is related to its range of adaptation to the forest site. Thus, the climate factors predefines where and how forests grow and determines resp. limited tree species composition. Likely affects of increased moisture stress include reduced growth and productivity and decreased economic value of forest stands.

But our forests are likely to be widely more impacted by the predicted changes in climate. The pace of these changes could overcharge trees and stands in their adaptability. The effects will be a complex of biophysical factors. The potential ecosystem responses to climate change affects physiology, phenology, range and distribution, and abundance of species [16].

Trees of the same species adapted to gradual climate change have an advantage. There will be a selection within the gene pool already existing. Less flexible individuals will die off.

Changes in climate exceeding the tolerance range will cause readapting interspecific competition. Fig. 3 exemplifies this phenomenon for common tree species in Germany: The wet *Alnus*-dominated sites (its natural range) will almost wither, the very wet sites get adaptable for Beech, and Pedunculate oak will be displaced. On the other hand Common beech will likely become less important on semi-dry sites (for the benefit of Pedunculate oak).

In addition to the already existing site spectrum we will probably identify sites specifics never found before. Beyond the oak range there will be extreme dry conditions (especially in continental areas and on soils with low water retention) eligible for *Robinia pseudacacia*.

This change of tree species is combined with an alteration of vitality parameters (like increase of growth, susceptibility, etc.). Decreasing vitality of a tree species may compensate lacking growth of another. With respect to soil humidity we will notice a differing sequence of the considered tree species. Fig. 4 points out the response of tree species when environmental factors are changing. Tree species close to their biological limits (in terms of temperature and moisture) will be more sensitive to climate change than tree species near the middle of its ecological optimum. In consequence of dry spell there will be no decrease in dominance of Locust but an adverse balance for Beech (and its regeneration).

The Beech response to temperature regime and water availability seems to be significantly affected by intraspecific competition as Cescatti & Piutti highlighted [17]. When competition is strong, trees show a high sensitivity to water balance whereas, at low competition level, trees react positively to high temperatures.

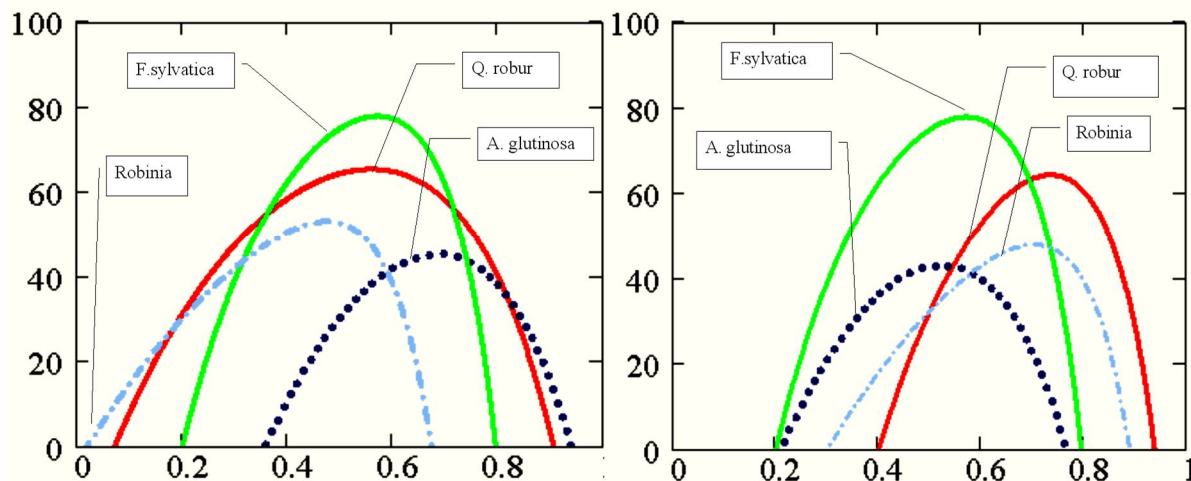


Fig. 3 and 4. Vegetative vitality (e.g. growth) of different tree species plotted against site humidity (left) and against temperature within growing season of the site (right). The axes are standardized

In general, tree species with high climate amplitude probably will be more robust (such as Common oak and Birch trees). Norway spruce will turn out to be a problematical tree species, especially on sites with potential risk for dry spell (sites with small thickness in upper soil, warm and south inclination sites with high radiation, compressed soils with stannic properties or temporarily anoxia (for details see (D) *Vitality of single trees and stands*). An alternative to Norway spruce management is the mixture with/or the establishment of pure Douglas fir of adapted provenance. In case of decreasing vitality of spruce Douglas fir might compensate growth deficit. Douglas fir is known as a tree species comparably tolerant to dry spell (fig. 5).

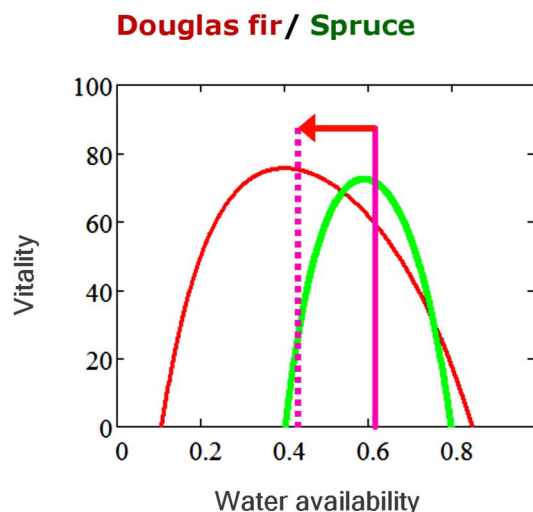


Fig. 5. Vitality of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) and Norway spruce (*Picea abies*) with respect to soil water availability 5. Vitality of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) and Norway spruce (*Picea abies*) with respect to soil water availability

Silvicultural management in a changing environment is a crucial research task which needs investigation objectives and techniques convenient for new arising problems. Exempli gratia the ability to natural regeneration! It is evident that we have to look more in detail to the tree specific demand on climate and soil. It would be not enough to focus on growth and vitality of the old stand. Already existing mature stands may be good adapted to climate change and may abound in vitality. But tree species communities, single plant species or genotypes may be poorly adapted to future climate condi-

tions if you go more in detail in single steps of their life cycles, for example resulting in lacking safe sites for natural regeneration, increased risk of regeneration failures, altered trajectories of forest growth, development, and productivity. A long run adaptation of trees should consider all parts of the life cycles: pollination, flowering, fructification, seed/fruit dispersal, and germination in specific safe sites, establishment of seedling and growth of the young tree [18, 19]. We have to ask if the new localities ensure well-balanced factors and resources for the young tree or whether we have to postulate high resilience against stress-induced or competition-induced mortality.

Another monitoring with regard to Germans most important broadleaf tree species arouses our suspicion that combination of environment factors will probably change in future. Schmidt [20], (fig. 6) could support an increasing frequency of masting during the last 20 years in beech. We do not have any final explanation for this phenomenon. It is expected, that global change (periodical higher temperature in the early summer before the mast) could be responsible for this generative beech potential. Perhaps there are additional influences by the atmospheric deposition of nitrogen promoting the generative capacity of beech stands.

Another important facet affects the biomass distribution of trees under the terms of global warming: An interesting long term study in Russia [21] highlights shifting allometries in tree compartments in changing environment. In areas where summer temperatures and precipitation have both increased, a general increase in biomass is primarily a result of increased greenery, rather than roots and stem. In areas that have experienced warming and drying trends, greenery has decreased, and both roots and stems have increased. It is most likely that this is a tree specific feature and that we have to assume specific capacities for the adaptation to changing environment.

Of course, addressing questions of root and rhizosphere function in the field is difficult and vexed with problems and uncertainties. Thus, this study once again stresses the importance not to disregard the subsurface reaction of tree vitality and to have a look more in detail into the fine roots of stand development. Ecosystem-level observations of root and soil processes as influenced by global change are beginning to emerge [22]. Unquestionable a deeper understanding of root dynamics is critical to describe the integrated response of forest ecosystems to global change.

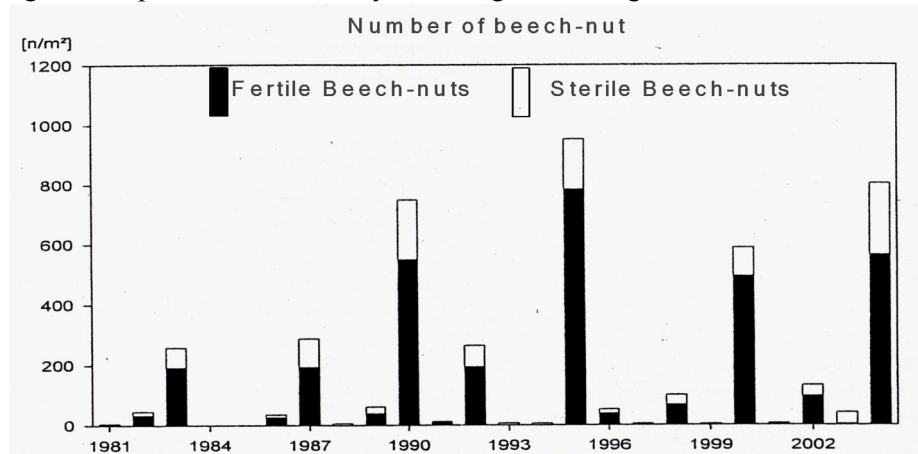


Fig. 6. Mastings of Beech (nuts/m² at Göttinger Wald site from 1981 to 2004 (1984 no data available. Schmidt, 2006)

B) Indirect ecosystem responses

Climate change affects the temporal and spatial dynamics of pest species, influencing the frequency, intensity and consequences of outbreaks as well as their spatial patterns, size and geographical range. Warmer temperatures will make mountain forests in middle and South Germany more susceptible to disturbances and large-scale pest attacks from bark beetles (*Ips typographus* and *Pityogenes calcographus*) [23].

Coevolved relationships between hosts and their pests probably will be disturbed, hosts will come in contact with novel pathogens and herbivores, and changes of species composition of communities are to be expected. With climate change, non-native species from adjacent areas may cross frontiers

and become new elements of the biota. Examples include thermophile species that have recently appeared in South Germany. E.G. the expansion of highly thermophile, Mediterranean pathogen species is expected, as well as an increase of pathogenicity of fungal endophytes in drought-stressed trees. In the southern part of Germany there are already pests of Mediterranean fungi on a variety of tree species like *Acer pseudoplatanus* (*Cryptostroma corticale* [24]) and *Aesculus hippocastanum* never present before.

Case study ‘Brandenburg’. Most of the studies emphasise regional variability of climate change. A focus on landscape level in Germany shows that climate change will vary between the different federal states. The driest region in Germany is the north eastern state of Germany (federal state ‘Brandenburg’). In this region low precipitation condition (areas lower than 500 mm per year) is aggravated by the predominance of sandy soils with low water-holding capacities and by the lack of substantial amount of water inflows to the region. Currently, forestry in Brandenburg relies mainly on Scots pine stands; simulation results show that there is little chance for improved conditions at current sites even under optimistic projections of climates [25].

Reduced water availability would result in substantially reduced yields and has profound effects on populations of invertebrate pests (mainly insects like pine moth, pine looper). An increase in the frequency and severity of summer droughts would be expected to lead to an increase in the number of fires and pine stands affected in those years.

The actual tree species dominance with Scots pine in vast areas effects another problem in connection with water balance in the soil. Degree and persistence of soil water repellency depend on content and distribution of soil organic matter, foremost thickness and morphology of humus layer [26]. In general, the effect is stronger for dry soils and decreases with increasing moisture content. Beyond soilspecific ‘critical’ water content, water repellency vanishes and soils become wettable. Under Scots pine stands (extenuate under Norway spruce) we usually find typical vertical humus disintegration with an accumulation in the humus layer and a loss in the upper mineral soil. The result is raw humus or raw humus like moder. This condition intensifies the hydrophobic structure and the infiltration behaviour of the soil. In case of extreme precipitation most of the water will be a surface run of [27]. This phenomenon will likely be different in mixed stands where we usually find better humus forms [28, 29].

Uncertainty vs. authority to act. Scientists agree that natural disturbances are likely to increase in frequency and intensity in response to climate change during this century [6]. Even though we cannot be certain about the specifics of change: forestry should not wait until absolute certainty arises, which will likely never be the case anyway! Even though there is uncertainty there are already changes; it is incidental that future environments will be different from present (achieved in chapter 2).

Because novel ecological conditions can cause severe and long-lasting environmental damage even with large economic costs, ecologists must identify possible environmental climate and ecosystem shifts and must develop a pro-actively forest ecosystem management [30].

Millar et al. [31] postulate an integration of adaptation strategies (actions that help ecosystems accommodate changes adaptively) and mitigation strategies (actions that enables ecosystems to reduce anthropogenic influences on climate). This makes sense for overall plans. In our paper we only focus on the adaptation strategies. It includes resistance options to protect highly valued functions of forest ecosystems, sustainability and resilience respectively response options by transforming the condition of already weakened ecosystems.

Strategies for coping with uncertainty. Initial condition of forest stands.

Mainly beginning in the 19th century Scots pine (*Pinus sylvestris*) or Norway spruce (*Picea abies*) plantations were established in most of the German states which had originally been dominated by deciduous trees. At present, forest management in all German states is changing. Changing demands of society, an enhanced level of ecological understanding and the conviction that climate change demands specific stand structure and tree species composition have given an impetus to a lively discussion and intensified research regarding the improvement of these secondary Norway spruce and Scots pine stands [32]. In the sense of a sustainable forest management in Germany these vast areas covering pure coniferous stands are currently converted to semi-natural and structured deciduous and mixed forests.

Besides the ecological aspects [33], mixed stands are widely believed to be potentially more productive than monospecific stands [34], which may be due to *complementarity* (tree species may differ in their crown morphology, shade-tolerance, in height and diameter dynamics, rooting depth and/or phenology) and/or to *facilitation* (positive interactions and feedbacks such as synergism and symbiosis). Ecosystems and societies are not static, but both are continually changing. This change may be slow and gradual, but it may also be dramatic and swift. For the purpose of this paper the strategies to cope with uncertainty can be grouped under three major headings:

I. Management strategies in order to assure specific services in the next century

II. Management strategies in order to absorb uncertainty

III. Management strategies to cope with the trend of dynamics

I. Management strategies in order to assure specific services in the next century. In times of site and climate change with constant and unchanging consideration of current forest services in the future (e.g. harvest profit²) forest conversion is needed. It is the sum of silvicultural strategies to improve horizontal structure by introducing other tree species (e.g. beech or oak) in more or less pure coniferous stands (fig. 9).

Forest conversion focuses the objective of *forest services*. The current horizontal stand structure is changed in medium-term by readapting stocking grades and/or adjusting thinning regime. Both strategies e.g. can affect diminishment of water availability. The introduction of tree species is an adaptation of stands by long-term. And it is important to consider every recent and essential information of site investigation when arranging tree species regeneration. In case of decreasing vitality of the old stand the alternative tree species might compensate growth deficit. But decreasing stocking grades could implicate one problem highly visible: Adverse effects can be decreasing stock volume, danger of wind throw and grass competition. And last but not the least the management of mixtures is delicate, time consuming and expensive.

II. Management strategies in order to absorb uncertainty. All discussed uncertainties like climate change in space and time, response of tree species and its antagonists, increasing intensity and frequency of disturbances, and unsure future marketing situation could be weekend by a management strategy focussing on sustainability issues.

In particular this means (A) conservation or regeneration of site productivity, (B) biological diversity (in particular of key-species), (C) long lasting ability to (natural) regeneration of stands, (D) vitality of single trees and stands.

(A) Conservation or regeneration site productivity. Site productivity is secured by choice of site adapted tree species (site investigation on small scale is necessary) in particular with intensive root system in mixed stands as possible, avoidance of soil cultivation and disturbances and no nutrient leaching (harvest without clear cutting systems).

Humus layer. The organic substance can be seen as an integrated indicator for site capability. In order to guarantee nutrient cycles the spacious presence of litter material easy to mineralize is essential. This calls for managing with suitable tree species or convenient mixture. Since more than 100 years we are informed about the effects of tree species litter material on humus ecology. New findings are published referring to changes in humus form and soil organic matter distribution caused by forest conversion [35]. The advanced planted broadleaf trees like Beech, Sessile oak and Lime affect a new steady in carbon stock after during the decades of forest conversion. Especially lime and beech promote a comparably intensive integration of organic material in the mineral soil (fig. 7).

Besides the choice of tree species certainly there are other elements within the forest ecosystem promoting the integration of humus layer. With few exceptions the herbaceous ground vegetation affects the humus ecology in a positive way. The significance of sunlight and (derived) temperature in forests is remarkable. Litter material reacts differently but immediately to changes in light intensity and temperature [36]. In this chain of events there is also the complex, yet important role of man: the

² Although timber harvest is a complex interaction of ecology, forest operations, business, law, taxes, marketing and negotiations. It has both short and long term consequences for the stand and the forest landowner.

radiation situation in stands should not be too dark, we have to choose suitable thinning regimes and cycles (see D).

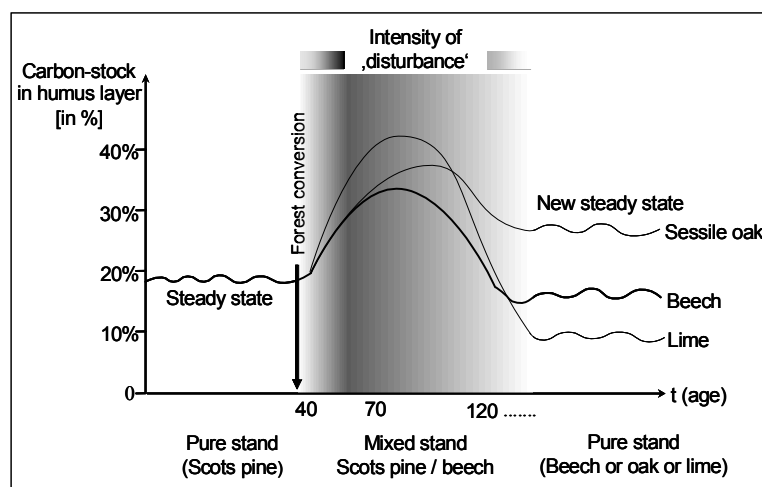


Fig. 7. Carbon-stock in humus layer [in %] during the decades of forest conversion from a pure Scots pine stand to broadleaf stands of sessile oak (*Quercus petraea*), beech (*Fagus sylvatica*) and lime (*Tilia cordata*)

(B) Biological diversity

Spatial structure and forest planning. Small-scale spatial structure and variability are characteristic features of forest soils and are of ecological importance for biological diversity. A few investigations show that predictability of the vegetation and the edaphic environment, at spatial distances relevant for the vegetative and generative fitness of plants, is essential for survival and diversity [37]. Forest planning has to consider these differences in site potential by establishment of different tree species. In addition a variety of harvesting and thinning techniques (single cutting systems up to small clear cuts) are as well indicated.

Deadwood. The importance of deadwood has been identified for biological diversity in particular. Deadwood is typical of a natural forest, in which the reserves of deadwood amount to 50-400 cubic metres per hectare. Managed forests have only a tenth of this quantity of deadwood reserves; the average is 12 cubic metres, and in mountainous areas only 5 cubic metres [38]. Many species of Fauna and Flora depend on decay, so if nature conservation is an aim, which it should be in any sustainable managed forest, leaving deadwood is vital for the survival of these decomposers.

And finally horizontal mixtures are strongly recommended (diverse structure with different small aggregations) to assure buffer action between tree species involved with respect to increment and decrease competition problems between tree species with different ecological requirements.

'Nativeness'. The concept of nativeness or hemeroby which is the evaluation of the dependency of ecosystems on direct human interference was applied to get an objective idea how natural the forests are [39]. It compares present vegetation with a reference vegetation/system, which can be pristine vegetation or present potential natural vegetation (PNV). However, it is nearly impossible to find pristine vegetation on the earth, especially in the developed regions with a long human history. On the other hand, PNV is very hypothetical. In the past the PNV had been very often used as an indicator for close-to-nature-forest-management. We think that the concept has to be modified when adaptability and climate change are discussed.

Warming 'creates' new impulses for the evolution of the forest ecosystems and thus, reorganizes their development. Hence, we hypothesize that the "present state" of forest vegetation or the present vegetation communities under the present site conditions is deviated from its undisturbed state in species composition and functioning of ecosystem in any case.

In fact, species choice may need to be extended. Using a variety of sources of native species in combination with introduced species is appropriate. Valuable but 'non-native' broadleaved tree spe-

cies currently less considered in some regions may come to play an important role in future forests (like *Castanea sativa*, *Jugland regia*, *Sorbus domestica* and others).

(C) Long lasting ability to (natural) regeneration of stands. As a result of climate change frequency and intensity of storm events are predicted in central Europe which are the most important natural disturbances affecting stand structures of both natural and managed forests. On the cleared areas with intensive soil-surface disturbance (removal of the damaged wood) the species composition changed towards pioneer herb vegetation to pioneer forest species like *Betula pendula*, *pubescens*, *Sorbus aucuparia*, *Populus tremula*, *Larix decidua* [33]. In this situation an extensive participation of these pioneer tree species in every stand development phases is important due to its limited dispersal potential [40]. The comparison between Birch and Beech exemplifies the significant differences between two dispersal strategies in Fig. 8. Paying attention to maximum distances should be secondary important for preservation of genetic transfer between individuals.

(D) Vitality of single trees and stands

Provenances and vitality. Because forest trees are genetically adapted to their local climates, local seed sources are generally recommended for artificial regeneration. However, these recommendations assume that climates are stable over the long-term. Because of local adaptation, the health and productivity of planted and native forests may decline in global warming. Therefore, it is becoming increasingly clear that the foresters must consider future climates when choosing seed sources for their silvicultural strategies. We suggest increasing the diversity of reproductive material at higher levels than currently in order to increase the adaptation capacity of the regeneration. Provenances need to be tested at the limit of their ecological range; it is important to understand the physiological basis for responses [41, 42].

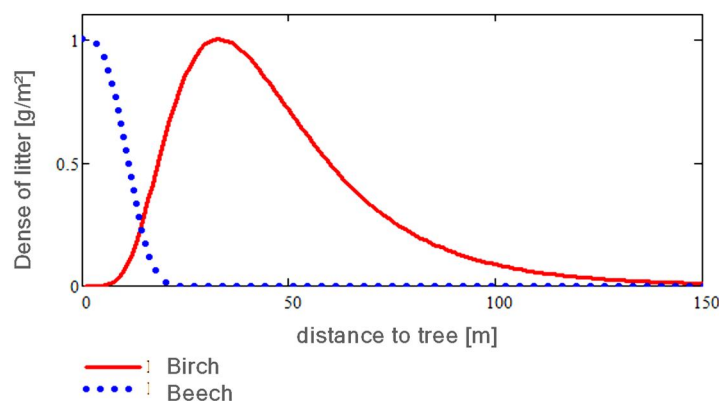


Fig. 8. Density of seeds in dependency to distance value:
Beech = 50/m², Birch = 1500/m² of mother tree (standardized to maximum density)

Norway spruce and vitality. Norway spruce is an economically important, but relatively drought-sensitive tree species that might suffer from increasing drought intensities and frequencies. Gaul et al. [43] conclude that even periods of mild drought significantly increase fine root mortality and the associated input of root-derived C to the soil organic matter pool in temperate Norway spruce forests. Additionally an increasing Spruce area does not correspond to predicted wind events as one major cause of natural disturbances in Germany. We have to reflect our experiences with tree species in oceanic distribution (such as Norway spruce).

Thinning regime and vitality. Canopy structure, which can be defined as the sum of the vitality, sizes, shapes and relative placements of the tree crowns in a forest stand, is central to all aspects of forest ecology and dynamics. On the one hand, the canopy structure sets the light environment experienced by individual trees, which is known to be a primary determinant of their growth, mortality and fecundity. On the other hand, competition for canopy space drives the growth rates, densities, and size distribution of canopy trees [44]. The ability to be responsive to thinning activity is typical and belongs to tree species. This so called plasticity is acknowledged to be important in forest ecology [45] if one is interested in thinning regime at a particular time.

The key to understand the dynamics of individual tree stability is the process of density-dependent competition for canopy space, and hence light [46, 47]. In these models, complex light-tracing algorithms are used in combination with crown allometries to calculate the degree of shading for different individuals. Growth and vitality are then functions of the level of light incident on each individual. And in forestry it has long been recognized that crown percentages and h/d-ratio are important predictors of the growth and vitality of individual trees.

Forest conversion and forest improvement. Two strategies for increasing the resilience of stands and making them more adaptable to climate change are order of the day within forest administration in Germany (fig. 9):

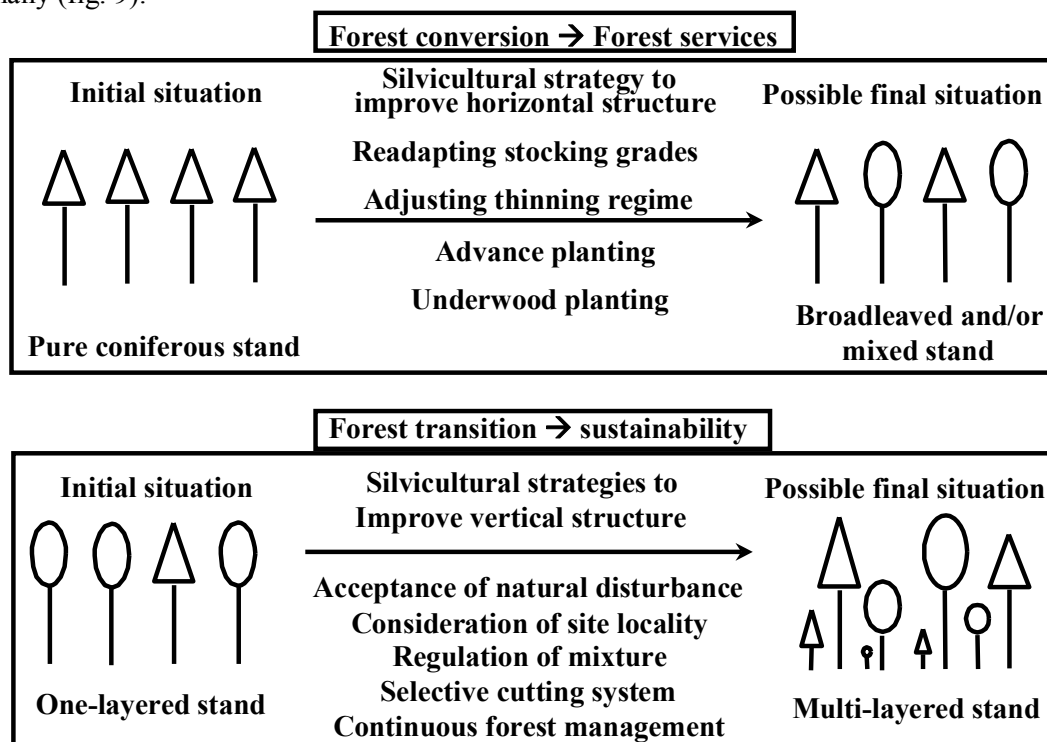


Fig. 9. Silvicultural strategies to improve forest stands that are poor in structure in order to make them more resilient against consequences of climate change

Forest Conversion (change in tree species composition) of secondary coniferous stands into pure or mixed broad-leaved forests usually e.g. by advanced artificial regeneration and

Forest Transition (change in vertical structure) of pure structured stands in multilayered stands, e.g. by moving from an even-aged to an uneven-aged forest stand and changing the rotation period (or even to strive to a continuous cover management). In contrast to radical forest conversion (as discussed in I) forest transition with the objective of sustainability definitely makes sense. A continuation and extrapolation with special attention to climate change might be a solution of different problems.

III. Management strategies to cope with the trend of dynamics. The dynamics of environmental factors is contradictory to management strategies which are statically determined; but nevertheless, the foresters have to decide on the planning period. Three time horizons for planning may be distinguished (fig. 10); focussing on

- A. the beginning of the period (classic idea of constant conditions)
- B. the end of the period ('panic scenario')
- C. the middle of the period

Promising techniques to cope with the trend in dynamics are strategies of uneven aged forests with a mixture of tree species vary in growth rhythms and dynamic:

- pioneer crop (Birch above Oak, Alder above Beech);
- advanced planting (Oak under Pine, Beech under Spruce);

- natural regeneration under old stands (Oak, Rowan berry under Pine);
- temporarily mixtures (Spruce in Beech).

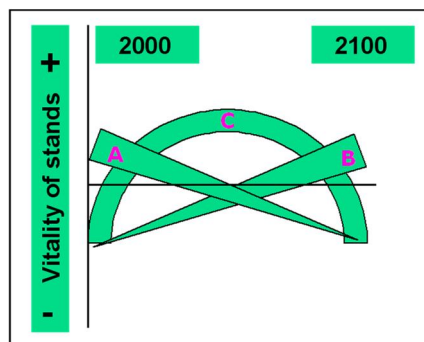


Fig. 10. Three time horizons for forest management planning
(adapted from Profft & Frischbier, 2008)

Subsumption and Conclusions.

- Forest conversion with the objective of forest services implies the knowledge to adapt the tree species to climate change. In particular Spruce will not meet the future demands of timber production on each site (decreasing growing potential, lower mean life span of stands). We have to initiate management with productive tree species resilient against climate change (Douglas fir, Oaks).
- Stand management – regulation of mixture, regulation of stock density, promotion of individuals with high growth capacity – is in high demand. We have to modify conventional strategies or we have to develop new management strategies by objective-orientation.
- We can manage in a comparably extensive way when organizing our stands with the objective of sustainability. Forest conversion with the objective of optimising forest services is an intensive interference in the ecosystem. Situation is easier when looking at forest transition with focussing on sustainability.
- Forest transition with the objective of sustainability is a long-needed and practised strategy in many forest districts. Climate change should provoke renunciation of 'euphoria of forest-conversion'. It demands a great deal of new ecological knowledge.
- Humus cycles have to be closed and they should be efficient in order to assure biodiversity, the potential of natural regeneration, or vitality of tree species. These are elements of management strategies in case of uncertainty (both, ecological and economical).
- We have to safeguard a variety of tree species with different ecological demands. We need mixed stands with pioneers and tree species resilient against climate change and disaster occurrence.
- More than in the past an improved monitoring systems is needed for identifying future research priorities. In order to reach these goals forest scientists require regional analyses, case studies and compared alternatives instead of a general consensus. The development of management responses to be implemented when new changes occur.

References

1. Folland, C. K. Observed climate variability and change; in Climate Change 2001: The Scientific Basis, (ed.) J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson, contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / C. K. Folland, T. R. Karl, R. A. ChristyClarke, G. V.Gruza, J. Jouzel, M. E. Mann, J. Oerlemans, M. J. Salinger, S. W. Wang // Cambridge University Press. – 2001. – P. 99-182.
2. Stanley, S. M. The past climate change heats up/ S. M Stanley // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2000. – Vol. 97, issue 4. – P.1319-1319.
3. Millar, C. I. The role of climate change in interpreting historical variability / C. I. Millar, W. B. Woolfenden // Ecological Applications. – 1999. – Vol (9)4. – P. 1207-1216.
4. Albritton, D. L. Technical summary // Climate Change 2001: The Scientific Basis. D. L. Albritton, LG. Filho. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, et al., eds). – New York: Cambridge University Press, 200121–85.

5. Meehl, G. A. An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections / G. A. Meehl, T. Karl, D. R. Easterling, S. Changnon, R. Pielke, Jr. D. Changnon, J. Evans, P. Ya. Groisman, T. R. Knutson, K. E. Knutson, L. O. Mearns, C. Parmesan, R. Pulwarty, T. Root, R. T. Sylves, P. Whetton & F. Zwiers // Bull. Am. Met. Soc. – 2000. – Vol. 81. – P. 413-416.
6. IPCC. Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP. www.ipcc.ch), Climate Change 2007, Summary for Policymakers.
7. Paul, E. A. Soil Microbiology and Biochemistry / E. A. Paul, F. E. Clark. – 2nd edition. – 1996.
8. Manning, P. Decoupling the direct and indirect effects of nitrogen deposition on ecosystem function / P. Manning, J. E. Newington, H. R. Robson, // Ecology Letters. – 2006. – Vol. 9. – P. 1015-1024.
9. Hughes, L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? / L. Hughes // Trends in Ecology and Evolution. – 2000. – Vol. 15(2). – P. 56-61.
10. Skinner, C. N. Silviculture and forest management under a rapidly changing climate // Powers, Robert F., tech. editor. Restoring fire-adapted ecosystems: proceedings of the 2005 national silviculture workshop. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-203, Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture: 2007. p. 21-32.
11. Fotelli, M. M. Effects of drought on the competition between *Fagus sylvatica* L. seedlings and an early successional species (*Rubus fruticosus*): 15N uptake and partitioning, responses of amino acids and other N compounds / M. M. Fotelli, H. Rennenberg, A. Gebler // Plant Biol. 4. – 2002. – P. 311-320.
12. Christensen, J. H. Regional climate projections // Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. S. Solomon; D. Qin; M. Manning. – Cambridge, UK, and New York, NY: Cambridge University, 2007. – Press: 847-940.
13. Kjellström, E. Recent and future signatures of climate change in Europe / E. Kjellström // Ambio. – 2004. – Vol. 33. – P. 193-298.
14. Spittlehouse, D. L. Water availability, climate change and the growth of Douglas-fir in the Georgia basin / D. L. Spittlehouse // Canadian Water Resources Journal. – 2003. – Vol. 28. – P. 673-688.
15. Berninger, F. Effects of drought and phenology on GPP in *Pinus sylvestris*: a simulation study along a geographical gradient / F. Berninger // Funct. Ecol. – 1997. – Vol. 11. – P. 33-43.
16. Walther, G. R. Ecological responses to recent climate change / G. R. Walther, E. Post, P. Convery // Nature. – 2002. – Vol. 416. – P. 389-95.
17. Cescatti, A. Silvicultural alternatives, competition regime and sensitivity to climate in a European beech forest / A. Cescatti, E. Piutti // Forest Ecology and Management – 1998. – Vol. 102. – P. 213-223.
18. Wagner, S. Regeneration techniques and the seedling environment from a European perspective // J. A. STANTURF & P. MADSEN: Restoration of boreal and temperate forests / S. Wagner, L. Lungqvist // CRC Press Boca Raton. – 2005. – S. 153-171.
19. Wagner, S. Directionality in fruit dispersal models for anemochorous forest trees / S. Wagner, K. Wälder, E. Ribbens // Ecological Modelling. – 2004. – Vol. 179 (4). – P. 487-498.
20. Schmidt, W. Zeitliche Veränderung der Fruktifikation bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in einem Kalkbuchenwald (1981-2004) / W. Schmidt // Allg. Forst- u. Jagdz. – 2006. – Vol. 177. – P. 9-19.
21. Bartelink, H. H. Growth and management of mixed-species stands. In: Management of mixed-species forest: silviculture and economics / Olsthoorn, A. F. M., H. H. Bartelink, J. J. Gardiner, H. Pretzsch, H. J. Hekhuis & A. Franc (eds.). – Wageningen : DLO Institute for Forestry and Nature Research. – 1999. – P. 186 - 190.
22. Norby, R. J. Root dynamics and global change: seeking an ecosystem perspective / R. J. Norby, R. B. Jackson // New Phytol. – 2000. – Vol. 147. – P. 3-12.
23. Logan, J. A. Evaluating the potential for climate change induced bark beetle invasion of high elevation ecosystems / Logan, J. A., J. A. Powell, B. J. Bentz // A. Menzel (ed.) Progress in Phenology, Monitoring, Data Analysis, and Global Change Impacts, Freising, Germany. – 2000. – Oct 4-6, 2000.
24. Metzler, B. *Cryptostroma corticale* an Bergahorn nach dem Trockenjahr 2006. Mitt. BBA Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem, H. 400, 161-161.
25. Stock, M. Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Land Brandenburg / Stock, M.; Toth, F.: Pilotstudie. Berlin. – 1996.
26. Buczko, U. Water repellency in sandy luvisols under different forest transformation stages in Northeast-Germany / U. Buczko, O. Bens, H. Fischer // Geoderma. – 2002. – Vol. 109 (12). – P. 1-18.
27. Gerke, H. H. Spatial variability of potential water repellency in a lignitic mine spoil afforested with *Pinus nigra* / H. H. Gerke, E. Hangen, W. Schaaf // Geoderma. – 2001. – Vol. 102. – P. 255-274.
28. Fischer, A. Restoration of Forests / A. Fisher, H. Fisher // Van Andel, J. & J. Aronson (2002) (eds.): Restoration Ecology. – The New Frontier. Blackwell Publishing, Malden-Oxford-Carlton, 2002. Chapter 10. – P. 124-150.
29. Bens, O. Water infiltration and hydraulic conductivity in sandy cambisols; impacts of forest transformation on soil hydraulic properties. European / O. Bens, N. A. Wahl, H. Fischer // Journal of Forest Research. – 2007. – Vol. 126. – P. 101-109.
30. Contamin, R. Indicators of regime shifts in ecological systems: What do we need to know and when do we need to know it / R. Contamin, A. M. Ellison // Ecological Applications. – 2009. – Vol. 19, No. 3, Pp: 799-816.
31. Millar, C. I. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty / C. I. Millar, N. L. Stephenson, S. L. Stephens // Ecological Applications. – 2007. – Vol. 17. – P. 2145-2151.
32. Spieker, H. Central Europe: Conifer to Broadleaf Transformation: Conversion of Secondary Norway Spruce Forests on Site Naturally Dominated by Broadleaves? / H. Spieker & J. Hansen // Proceedings of the IUFRO conference on Restoration of Boreal and Temperate Forests: Denmark. Reports, 11. – 2002.

33. Fischer, A. Restoration of Forests / A. Fisher, H. Fisher // Van Andel, J. & J. Aronson (2006) (eds.): Restoration Ecology – The New Frontier. Blackwell Publishing, Malden-Oxford-Carlton, 2006. – Chapter 10: 124-150.
34. Bartelink, H. H. Effects of stand composition and thinning in mixed-species forests: a modelling approach applied to Douglas-fir and beech. *Tree Physiol.* 20, 399–406.
35. Sauerwein, S. Small-scale variability of humus layer thickness in mixed and mono-species stands of *Pinus sylvestris* (L.) and *Fagus sylvatica* (L.) / S. Sauerwein, H. Fisher, O. Bens // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* (in review). – 2009.
36. Vanmechelen, L. Forest Soil Condition in Europe / L. Vanmechelen, R. Groenemans, E. Ranst // Result of a Large-scale Soil Survey, UN/ECE, ICP Forests, Forest Soil Coordinating Centre, University of Gent. – 1997.
37. Bringmark, E. Disappearance of spatial variability and structure in forest floors: A distinct effect of air pollution? / E. Bringmark, L. Bringmark // *Water, air and soil pollution.* – 1995. – Vol. 85, (2). – P. 761-766.
38. Christensen, M. Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves / M. Christensen, K. Hahn, E. Mountford // *Forest Ecology and Management.* – 2005. – Vol. 210. – P. 267-282.
39. Li, M. H. A method to assess the naturalness of vegetation / M. H. Li, N. Kräuchi, J. Yang // *Progress in Geography.* – 2002. – Vol. 21(5). – 450-458.
40. Huth, F. Gap structure and establishment of Silver birch regeneration (*Betula pendula* Roth.) in Norway spruce stands (*Picea abies* (L.) Karst.) / F. Huth, S. Wagner // *Forest Ecology and Management.* – 2006. – Vol. 229. – 314-324.
41. Tyree, M. T. Hydraulic limits on tree performance: transpiration, carbon gain, and growth of trees. – 2003. – *Trees* 17: 95–100.
42. Spittlehouse, D. L. Adaptation to climate change in forest management / D. L. Spittlehouse, R. B. Stewart // *British Columbia Journal of Ecosystems and Management.* – 2003. – Vol. 4. – P. 1-11.
43. Gaul, D. Effects of experimental drought on the fine root system of mature Norway spruce / D. Gaul, D. Hertel, W. Borken // *Forest Ecology and Management.* – 2008. – Vol. 256. – P. 1151-1159.
44. Oliver, C. D. Forest stand dynamics / C. D. Oliver, B. C. Larson // New York. – Wiley. – 1996.
45. Muth, C. C. Tree canopy displacement and neighborhood interactions / C. C. Muth, F. A. Bazzaz // *Canadian Journal of Forest Research – Revue Canadienne De Recherche Forestiere.* – 2003. – Vol. 33. – P. 1323–1330.
46. Shugart, H. H. A theory of forest dynamics: the ecological implications of forest succession models. New York: Springer-Verlag. – 1984.
47. Purves, D. W. Plasticity and Competition for Canopy Space / D. W. Purves, J. W. Lichstein // A New Spatially Implicit Model Parameterized for 250 North American Tree Species. – 2007. *PLoS ONE* 2(9): e870. doi:10.1371/journal.pone.0000870.

Статья поступила в редакцию 12.04.09

Х. Фишер, С. Вагнер

ПЛАНИРОВАНИЕ ЛЕСОВОДСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Прогнозируется, что изменение климата значительно повлияет на структуру лесов и их устойчивость. Изменяется взаимодействие между породами и породный состав лесов. Авторы анализируют существующую информацию о прогнозируемом влиянии меняющегося климата на леса Германии. Рассматриваются вопросы планирования лесоводственных мероприятий на уровне насаждений по их адаптации к меняющимся условиям.

Ключевые слова: изменение климата, лесоводство, влияние на леса, биомасса, стратегия лесопользования, защита леса.

ФИШЕР Холгер – профессор Дрезденского технического университета, Институт лесоводства и защиты леса, кафедра лесоводства. Научные интересы – облесение бывших сельскохозяйственных земель, естественное возобновление, облесение горных выработок, взаимодействие почва-лес. Автор 32 научных работ. E-mail: fischer@forst.tu-dresden.de.

ВАГНЕР Свен – профессор Дрезденского технического университета, Институт лесоводства и защиты леса, кафедра лесоводства. Научные интересы – экология лесовозобновления, функции леса, стратегии устойчивости. Автор 56 научных работ. E-mail: wagner@forst.tu-dresden.de.

UDC 630*911(450)

D. Pettenella, P. Gatto, L. Secco

**PAYMENTS FOR ENVIRONMENTAL SERVICES:
A COMPARATIVE ANALYSIS OF SOME ITALIAN EXPERIENCES
IN THE FORESTRY SECTOR**

On the basis of the existing theoretical background and by means of three explanatory-exploratory case-studies chosen amongst the few experiences present in Italy, the paper seeks to analyse the potentials and challenges in different organisational PES (payment for environmental services) models applied to the provision of forest services in the country, with a special focus on tourism-related environmental services. The analysis shows that the markets for the various forest services have different drivers, sizes and levels of maturity. Performances in effectiveness, efficiency and equity are also highly variable. Strengths, weaknesses, opportunities and threats for new private and mixed private-public initiatives need therefore to be further explored before assessing the true potential for implementing PES in Italy.

Key words: *payment for environmental services, multifunctionally-oriented forestry, innovations, forest policy, case studies.*

Introduction. With the strong competition on the global markets for timber products, and the globalisation of forest issues and the related policy context where decisions are taken, forest entrepreneurs are constantly reducing their market power in influencing prices and factors allocation. Southern European forest owners are affected, more than in other areas, by long-standing structural problems – highly fragmented forest estates, exposure to natural hazards (fires, difficulties with natural regeneration), low market access – all factors resulting in low levels of profitability for wood production. On the other hand, the demand for Non Wood Forest Products and environmental services has grown rapidly in the last decades, highlighting the need for a more multifunctionally-oriented forestry but also fuelling conflicts amongst the different objectives and stakeholders [1–4]. Finally, timber and forests are nowadays perceived not only as important natural resources, but also as part of the historical and cultural heritage of one country [5] and this in turn broadens the number and the type of stakeholders involved in the decision-making processes [6–8].

In this complex scenario, new forest policy instruments are needed that can remunerate in an efficient way those forest owners and managers providing forest collective values and conserving forest multifunctionality. Moving away from the traditional ‘command and control’ approach, these instruments should be soft and participative, characterised by an innovative multi-relationship environment and inspired by a bottom-up approach. In other words, they should embody the most-advocated shift from ‘government’ to ‘governance’ in the management of forest resources [8–9].

In recent years, research on environmental and forest policies has rapidly progressed, and a full set of new and different tools has been proposed in order to achieve multi-functional forestry objectives in a sustainable manner [10–11]. Among these tools, the so-called Payments for Environmental Services (PES) have received a great deal of attention, and many applications and case-studies are now available, especially in developing countries [12–15]. The rationale behind PES is the commoditisation of public goods by means of market creation, in which beneficiaries/consumers directly pay the producers for the product or service provided. The idea looks quite simple and appealing in its theoretical formulation, but several key-issues need to be resolved before PES can be considered effective and efficient tools for sustainable forest management. Within this context, this paper seeks to understand what are the key-factors making PES a successful income-generation opportunity for forest ent-

repreneurs/landowners. The study focuses on Italy, a country where these schemes have so far been scarcely applied and timber production is often no longer the main source of income for forest managers.

PES: basic concepts. In the international literature, the most-acknowledged definition of a PES scheme is probably that of Wunder (2005) [16], also reported in Engel et al. (2008) [17], whose pillars are the identification of a well-defined environmental service, the voluntariness of the transaction, the existence of both buyers and sellers (at least one each) and the continuity of the provision in time.

One crucial point in the definition is what is considered as an environmental service. Most authors (see for example Landell-Mills & Porras 2002) [14] include in the list: C-sequestration, biodiversity conservation, watershed protection and influence on water regimes, landscape beauty, and bundled services. The reference to the ecosystem instead of to the environment, adopted for example by the Katoomba Group (2008) [18], may restrict the field of application of PES schemes even more.

According to both these definitions, recreation can be strictly considered neither an ecosystem nor an environmental service. This perhaps partially explains why only a few case-studies of PES in Europe and no case-studies in Italy have been reported in the very recent review by Wunder et al. (2008) [15], despite several examples of 'environmental-recreational' services being available [10, 19]. Recreation is indeed one of the most important products of a multifunctional silviculture, where it is jointly produced – and therefore intimately bundled – with other public goods and services [20-21]. Omitting it from the family of environmental services would cut out several possibilities for implementing PES in forestry, at least in an Italian context, and this is the pragmatic reason why, in this paper, the broader definition for PES proposed by Mantau et al. (2001) [19] is adopted.

The basic structure of a PES scheme encompasses the activation of a mechanism ensuring the flow of payments from beneficiaries to providers [13]. This needs to be backed by a clear identification of the service traded, also in term of the economic value of the benefit marketed, which is crucial but sometimes difficult to be estimated. The suppliers and the buyers of the service need also to be clearly defined, in terms of both responsibilities and rights. In fact, the implementation of PES schemes often requires a context of full allocation or assignment of property rights, where rights holders are entitled to claim the price for the environmental good produced.

Conceptual and methodological framework. A good deal of the PES literature concentrates on different PES taxonomy. A comprehensive classification framework – called the PES Matrix – has recently been produced by the Katoomba Group (2008) [18]. This framework arranges PES schemes into three main categories, mainly based on the type of payment mechanism: Compliant, Government-mediated and Voluntary. In addition, other criteria based on market features like size, participants, shapers and service providers are used to classify the PES schemes. Nevertheless, it stands to reason that one of the key-aspects for differentiating PES schemes is the level of involvement of public authorities with respect to the private actors in PES markets creation.

In this paper, the institutional arrangements and organisational models linked to different roles of Governments in markets – according to different economic theories [22] and to the abovementioned PES Matrix – are considered to have a very pivotal role in the design of successful PES schemes. Therefore, a classification focused mainly on the role of the public institutions in creating, supporting or controlling the markets for PES has been developed (Table 1). According to this classification, three main organisational models (with two additional sub-models) suitable for describing the institutional frameworks for PES implementation in Italy have been identified. These models can be systemised as: i) the Government has a direct role ('Direct control'); ii) the Government has an indirect role ('Indirect control' and 'Allocation of property rights'); iii) the Government has no significant role ('Contextual control'). Hereafter, the organisational models fitting into the Italian context are briefly described:

1. Direct role - Direct Control: market creation occurs under direct control by public institutions of the rules and the correct functioning of the market mechanism, e.g. through Cap-and-Trade programmes, where public institutions identify market agents and emission caps. According to the Katoomba Group's classification, these are compliant schemes, in which the entrance by agents is mandatory. Examples include the C-offsets initiatives implemented under the Kyoto Protocol rules (activities under the European Trading Systems and the Clean Development Mechanism – CDM – and Joint Implementation – JI – projects) or the Biodiversity-offsets initiatives like those under the Habitat and

Birds Directives of the EU [23]. Payments can occur through direct payments between public authorities and the services' providers or through intermediary-based transactions, and sometime are connected to the use of public incentives.

2. Indirect role - Indirect Control: public institutions play a general role in defining the principles regulating the market (i.e. services, actors, rules and payment mechanisms); in such a way, they perform an indirect control on the market and the various players, acting mainly as mediators. The Italian administrative system being strongly based on decentralisation, major responsibilities in decision-making and policy implementation in the forestry and several other sectors, such as water supply, are given to the Regional authorities. This means that once the general rules have been established at State level, the details for their implementation are left to the local authorities (i.e. 21 Regions and Autonomous Provinces). This situation results in different local institutional and legal frameworks for PES schemes implementation. One example in Italy is the possibility of endorsing PES-type schemes for tap water provision services, regulated through the National Act on the Integrated Water Cycle (LN 36/1994). This assigns the power to the Regional authorities to implement rules at local level through which public/private water services providers can charge additional water tariffs from final users to be transferred back to forest owner or managers. The role of Government here is to ensure the enforcement of the contract between the parties and to monitor property rights [22]. Direct payments (commoditised through best management practices contracts) or intermediary-based transactions are included as payment mechanisms. Public funds may be used.

3. Indirect role - Allocation of property rights: the Government acts mainly through the assignment of property rights to landowners, so that 'public' or 'common' goods are transformed into private goods and commercialised. The PES scheme is voluntarily implemented by the environmental service's providers, while the buyers only enter the market if they are interested in the good offered. As in the previous one, the role of public authorities might be 'to develop regulations and environmental certificates for controlling volumes of resources' [22]. This is the case, for example, for recreational activities linked to hunting or non-wood forest products (NWFPs) harvesting (e.g. wild mushroom picking), conditional upon the purchase of licences and permits, whose profits should go to the land-right holders. Besides allocating property rights, the Government sometime acts in a similar fashion to the 'cap-and-trade' programmes, for example setting ceilings or quotas for permits (mainly on the basis of assuring a sustainable use of the resource). Payment mechanisms include only private transactions.

4. No significant role - Contextual control [22, 25]: the Government prefers soft interventions (or no interventions) that should direct and support economic activities rather than regulate them. Thus, it uses only weak informational tools, playing an educational and promotional role, based on distributing information to market agents and stakeholders. The implementation of the initiatives is entirely voluntary. The transactions are private and occur through either direct trade (over the counter payments, sale of access tickets), as in the case of tourist recreational activities, or through the sale of eco-labelled or certified products and services.

Although the compliance criterion is not the main classification key, the models are consistent with the Katoomba group's payment types (2008) [18]. In fact, they partially match the classification proposed by the PES Matrix, where the 'Direct control' of Government in establishing PES schemes corresponds to the 'Compliant' mechanisms, the 'Indirect control' corresponds to the 'Government-mediated' and finally the 'No significant role' category refers to the 'Voluntary' mechanisms. The described organisational models show a decreasing degree of compliance going from the 'Direct control' model down to the 'No significant role' one.

To conclude, the proposed framework highlights that public institutions can have different roles in PES schemes implementation, progressing from simply an informational function to a more complex and greater responsibility in setting up the market, up to the direct control of market agents and transactions. In any case, Governments are never absent from the PES scenario.

Based on the conceptual framework developed in Table 1, three paradigmatic case-studies on different organisational models have been identified and selected in the Italian context.

The first case-study – based on an indirect control model – concerns the drinking water supply service in two Italian regions: Piedmont and Emilia Romagna (the only two Regions where this PES

tool has been put in place so far). The second case-study – emblematic of an allocation of property rights model – deals with the recreational activities associated with wild mushroom gathering, specially focused on a rural market located in the Apennines. The third and last case-study considers the provision of recreational services in tree-canopy walks (usually called ‘Adventure Parks’ in Italy) that have appeared recently in several mountain areas.

No case-studies have been selected for the remaining two types of organisational models. As regards the model where Government has direct role, no initiatives have so far been implemented in Italy, as the European Trading System does not allow the exchange of C-sink related projects while CDM and JI projects are not allowed to be implemented in Italy. As regards the model where Government has a weak informational role in certification and labelling initiatives, no case-studies have been selected. The Italian experiences regarding the involvement of public authorities in forest management certification initiatives are quite unusual [24] and therefore cannot be considered paradigmatic examples to analyse for the purpose of this paper.

According to [25], our case studies can be labelled as exploratory-explanatory case studies. The first one - ‘Water tariffs’ - has been investigated mainly by means of internal documents and a review of current legislation. The other two – ‘Wild-mushroom permits’ and ‘Adventure Parks’ – have been investigated by collecting data through an internal document review and semi-structured interviews of local stakeholders, including private landowners and entrepreneurs, visitors and local public authorities. The investigatory approaches are based on a methodology formalised by Marshall et al. (2006) [26].

Table 1

A classification of some PES schemes in Italy focused on the role of public authorities in diverse organisational models

Role of the public sector		PES mechanisms	Application to the forest sector	Examples in Italy
Direct role	1. Direct control	Purchase of emission licences and permits, sometime with public funds	C-offsets (CDM and JI projects under Kyoto Protocol rules) or Biodiversity-offsets projects (Nature 2000 Payments)	Practical experiences not yet available in Italy
	2. Indirect control	Best Management Practice contracts, sometimes with public funds	Tariffs on drinking-water provision services as a compensation for best forest practices implemented in the water catchment area	Water tariffs in Piedmont and Emilia Romagna Regions
Indirect role	3. Allocation of property rights	Selling and purchasing of licences and collection permits for controlling volumes of resources	Mushrooms, truffles and other NWFPs harvesting permits, hunting licences	Wild-mushroom picking permits in several mountain areas
	4. Contextual control	Direct trade of PES between providers (usually private businessmen) and buyers of the environmental services	Tourist-recreational, soft-adventure, cultural, educational activities, C-Offsets in the voluntary market	Adventure Parks; environmental education services; peri-urban forests or plantations selling C-credits on the voluntary market
		Corporate Social Responsibility-related initiatives, such as selling of eco-labelled or certified products and services	Certification of forest management based on Sustainable Forest Management (SFM) standards	Several private, public and community-forests certified according to SFM standards; NWFPs labels of origin

Profiles of the case studies. Water tariffs. According to the general provisions of the National Act 36/1994, the mechanism enforced in the Piedmont Region (Regional Law - RL 17/1997, RL 16/1999 and Decree 38-8849/2008) implies that a 3 to 8% share of the income from the water tariff (collected by the Public Water Authorities) is transferred back to the Mountain Communities, i.e. to consortia of Municipalities in the mountain areas. These, in turn, have to invest the funds in projects aimed at ‘maintenance and conservation of the mountain areas’. In 2007, 18.5 thousand Euros were collected, meeting 54% of the total budget spent for ‘hydro-geological and watershed management’ – this however may mean hydraulic works on the river banks or beds and not necessarily on forest

maintenance. Fewer details are available for the Emilia Romagna Region, due to the more recent implementation of the scheme (defined with RL 25/1999). The mechanism is similar to that operating in Piedmont, however here the share of the water tariff to be used for forest management is 6%. The rules in this case specify that at least 50% of what should go to mountain areas is used strictly for forest maintenance. Regulation of water regimes, reduction of soil erosion and other hydro-geological risks are the main goal of this scheme. The rationale is to pay forest owners and managers for maintaining stable upland forests; the beneficiaries are the lowland communities who enjoy improved protection against floods.

Wild mushroom permits. Wild-mushroom picking is regulated by law, mainly with the purpose of ensuring that mushroom harvesting activities are sustainable and do not have a too strong negative impact on other components of the forest ecosystem. National Act 352/93 establishes the general framework, on the basis of which the Regional Governments set up detailed regulations for their territory. Forest landowners are free to collect as many mushrooms as they want or need from their land with no restrictions, while all the other pickers are subjected to the purchase of daily, weekly or monthly permits and to daily caps (usually 2 kg of mushrooms per day per person). The permits are sold by the Local Authorities, Mountain Communities or by the single Municipalities. Permits are usually cheaper, or even free, for local residents, and more expensive for visitors. The specific explanatory example for this organisational model comes from the area of Borgotaro in the Apennines [27]. Here, the price for a daily picking permit ranges between 6 Euros (for residents) and 15 Euros (for non residents), while a six-months permit costs between 67 Euros and 150 Euros. About 36 thousands permits were sold in 2005; assuming an average of 10 Euros per permit, the yearly revenue totals 360 thousand Euros. In Borgotaro this money is used by the local forest owners' associations for forest conservation and management including forest practices aimed at increasing mushroom yields, making it an effective mechanism for forest maintenance.

Adventure Parks In Italy, Adventure Parks are a relatively new product in the panorama of the structured tourist and recreational facilities linked to forests and mature trees. They have been created in the last five years, following the development path of similar structures existing in France since the beginning of the 1990's. An Adventure Park is a series of acrobatic trails built on high tree trunks, with ropes and wires attached to different trees. In their conception, Adventure Parks are similar to the American Challenge Courses or to the Canopy Walks existing in some tropical forests, but their aims include educational, developmental, and recreational goals.

According to a recent study [28], there are now about 70 similar structures in Italy, mostly located in mountain areas with high tourism vocation. It is difficult to estimate the overall market in terms of visitors number, since they vary widely according to the location. Visitors to an Adventure Park usually buy a ticket to gain access to the park and a ticket costs 10 Euros on average. Assuming around 8 thousand visitors per year, with an initial investment of 250 thousand Euros and annual management costs of 30 thousand Euros, the breakeven point of the investment is reached after the fifth year of operation. The link with the PES mechanism lies in the provision of a recreational service strictly connected with the presence of the trees, and the net revenues from the Park should serve the maintenance of the forest in which the activity is based.

In table 2, besides the type of service produced and the payment mechanism, three other important features of the case-studies are analysed and compared, namely the market drivers, market size and level of market maturity.

The market drivers responsible for the development of the three PES schemes are rather evident: provision of basic services accompanied by an increased awareness of the urban population towards water quality for the water tariff case-study, demand for forest recreation for the other two, along with interest in traditional local food in the case of the wild-mushroom permits. What is rather different among the three case-studies is the market size. For the water tariffs, the market is large, being all the households and businesses in the two regions (and potentially in all the country). The size of the market for mushroom permits is of medium importance at local level, while Adventure Parks are related to scattered niche markets. For the last two there is a potential for increasing the market size. As regards the wild mushroom permits, at aggregate (national) level the role is already not so marginal: the Italian Statistical Office estimates 3,300 tons of wild mushrooms harvested in 2005; assuming that 80% is

collected by permit-paying pickers, with an average price of 10 € permit⁻¹ and quantity of 2 kg picker⁻¹ day⁻¹, the total value of the permit sales is 13.2 M€ yr⁻¹.

Finally, the level of maturity also differs widely amongst the three: the experiences of implementing PES schemes linked to water tariffs are so far at a very pioneering and immature stage. Mushroom picking has a long tradition in Italy, with consolidated experiences, based on a well-structured and mature market. Adventure Parks are a totally new business activity, characterised by high requirements for innovation and technical capacities.

Table 2

Profiles of the case-studies under analysis

Sources: Regione Piemonte 2008 (unpublished data), Pettenella et al. 2008, Loreggian 2008

	Water tariffs	Wild-mushroom permits	Adventure Parks
Type of Environmental Service produced by the forest and traded through PES scheme	Regulation of water regimes (quality, quantity and regularity of flows)	Recreation through the picking activity	Recreation through an open-air sporting activity
Payment mechanism	Payments (tariffs) from beneficiaries (water end-users) are used by service suppliers (forest landowners or managers) for forest management aimed to service provision	Payments received by service suppliers (forest landowners or managers) through sale of permits and paid by end-users (mushroom pickers) are used for forest conservation/maintenance	Service's suppliers (forest owners or managers) are directly paid by the end-users for forest management specifically oriented to provide the service
Market drivers	Provision of basic services like water; increased awareness of urban population towards water quality	Increasing demand for forest recreational activities and for local traditional foods and specialties	Opportunity for business based on an increasing demand for recreation in forests
Market size	Large	Medium	Niche
Level of market maturity	Young: pioneer experiences	Mature: long tradition in Italy, consolidated experiences	Young: total innovation, under development

Results and discussion. Following Pagiola (2002) [13] the performance of the three case-studies under analysis can be assessed thorough different criteria, in particular (Table 3):

- the effectiveness of the scheme in achieving the desired levels of provision of the service, and in turn its capacity to contribute towards the conservation of forest resources
- the effectiveness of the scheme to generate revenues for the providers, also in terms of regularity over time. This is considered one of the most attractive features of PES schemes, especially if compared with the long lapse of time for forest revenues to materialise or with the uncertainty of public subsidies to silviculture. By creating new chances for landowners to keep them in forestry and avoid abandonment, this aspect can also ultimately contribute to the scope of resource conservation
- the efficiency, that is to say the capacity of the scheme to achieve the desired level of results with the minimum level of expenditures. This can be measured in terms of opportunity cost of the foregone land use [13], in a wide economic framework that also considers the role and extent of transaction costs, both public and private
- the equity, referring to the capacity of the scheme to involve all those who are eligible and entitled to take part in it. This is a crucial aspect in the light of the innovative participatory approaches underpinning modern rural development.

In general, the effectiveness of the PES scheme in the provision of strict environmental services – like regulation of water regimes – is site-specific and difficult to ascertain and measure. The forest area under the scheme could be used as a first proxy for the extent of service provision. However, we are mainly dealing with already existing forests, where the additional effects of the schemes on improving forest conservation are hard to single out since they depend on forest management practices (what the PES scheme pays for), but also on other forest characteristics like forest cover and soil type and on environmental factors like climate, especially rainfall. In the case of recreational services like mushroom picking activities and Adventure Parks, the effectiveness in terms of level of service provided is more easily identifiable and generally higher than with water services. However, whenever the recrea-

tional activities implemented by the PES scheme cross the forest sustainability threshold, the provision of environmental services – *sensu stricto* – can be seriously threatened.

Table 3

The three case-studies in the light of the performance criteria adopted

	Water tariffs	Wild-mushroom permits	Adventure Parks
Effectiveness in service provision	Variable (depend on many factors)	High	High
Effectiveness in income generation	Low	Variable (from high to low)	High
Efficiency	Low (high transaction costs)	Low (high transaction costs)	High
Equity in benefits distribution	Low	Variable (potentially very high)	Generally low

Effectiveness in income generation is also diverse within the organisational models under examination. For water tariffs, the scheme in place in the Piedmont Region has so far generated funds to meet only 50% of the total needs, showing a low effectiveness. For the wild mushrooms permits, the effectiveness depends both on the capability of local landowners to enforce the mushroom property rights regime so as to raise money through the sale of permits and the general ability of the scheme to generate local wealth through networking and marketing initiatives, of which Borgotaro is a good example. Finally, Adventure Parks have shown good results in income generation, given the relatively short payback periods. Measuring the efficiency of the scheme means evaluating whether it is worthwhile running it, in other words assessing whether the benefits it produces are higher than the costs to achieve those benefits. In PES schemes, this balance can be strongly affected by transaction costs, which could be approximated by the number of actors involved in the schemes on both sides: public (institutions) and private (e.g. number of landowners). Organisational models implying a relatively large number of intermediate steps between providers and beneficiaries, or a large number of small estates – like for example the water tariffs and wild mushroom schemes – have high transaction costs and therefore low efficiency. On the contrary, where fewer actors are involved, like in the case of Adventure Parks, and agreements are directly negotiated between the landowner and the concessionary, transaction costs can be significantly reduced and a higher level of efficiency can be achieved.

Finally, the equity criteria is met when the scheme has the capability to achieve, directly or indirectly, a fair distribution of benefits to the members of the local community, resulting in turn in an higher social acceptability and thus reducing the risks of conflicts for the use of natural resources. Different issues can be at the basis of lack of equity; the gaps in the scientific understanding of the cause-effects relationships can be one important source of unfairness, as is happening for water tariffs in Italy. The case-studies have shown that the decision on the amount of payment due and on who are the final recipients has been so far only a mere political matter, with no consideration on the true value of the service provided. This might lead to unfair discriminations, based on local interests and lobbies.

For the other two case-studies, providing essentially a recreational service to tourists, the equity of the scheme is related to their ability to trigger other income-generating activities through territorial market initiatives. The organisational model put in place in Borgotaro is a very good example of this, being based on a network involving ‘not only forest-based small and medium-size enterprises but also other institutional, economic and social actors’, proving to be ‘not only economically viable and less risky, but also equitable in distribution of benefits, and effective in stimulating the local economy as a whole’ [27]. For their essentially private nature and the infancy of the business, Adventure Parks are at the moment less capable of generating multiplier effects, however they may do so in the future when turning in a well-known attraction of an area.

Conclusions. The analysis on the features and performance criteria of the three case-studies shows that the Italian experience in the application of PES schemes is still at its debut and this is at the root of the wide variability of some crucial factors for PES development, namely:

- i. the size of markets, which varies largely from niche-medium for recreational services to large for water services
- ii. the level of maturity of markets, which is rather different depending on the service: while schemes for water services can be considered pilot experiences, those for recreational services show a relatively higher market maturity and better market stability, implying lower entrepreneurial risks; however, allocation of property rights sometimes appears to be problematic in this case

iii. finally, the involvement of local communities, which is also significantly varying, and when it occurs, requires shared objectives and commitment to capacity building. The innovative participatory approaches underpinning modern decision-making processes related to natural resources uses and environmental/social conflicts management might positively contribute in this key-aspect of PES schemes implementation. Some other preliminary conclusions can be drawn from the analysis. Looking at the three organisational models embodied by the case-studies – e.g. the ‘Indirect control’ (water tariff), ‘Allocation of property rights’ (wild-mushroom permits) and ‘Contextual control’ (Adventure Parks) - it appears that higher effectiveness and efficiency performances can be associated to those organisational models where the role of public institutions is softer. Still, there are at least two good reasons why this finding must be treated with caution. First, it is clearly affected by either the immaturity of the schemes (e.g. in the case of water tariffs) or the imperfectness of the implementation tools design (i.e. wild mushroom permits regulation was conceived with different purposes to those related to a PES scheme implementation). Secondly, even if the involvement of public institutions might increase transaction costs, such involvement might be important in order to guarantee or to improve both the environmental sustainability of the initiatives and the fairness in the schemes’ benefits distribution.

To conclude, it is rather early to draw a final balance of the scattered Italian experience in the application of PES schemes. This overview is intended to contribute towards the provision of a first methodological framework for further analysis and research in this field, highlighting some of the crucial issues in PES design and application. The preliminary findings of this case studies’ analysis almost substantiate the international literature contents and point out that the design of successful PES schemes is based on a well-balanced mix of essential requirements. These requirements include, amongst others: clear understanding of the cause-effect relationships at different scales, proper stakeholders’ involvement, positive entrepreneurial attitude and networking capacity, capacity building, minimisation of transaction costs, clear governance mechanisms and transparent decision-making processes with soft Governments interventions, communication and green and territorial marketing initiatives. Only well-designed PES schemes have a good potential for generating revenues in the forest sector and, ultimately in the conservation of forest ecosystems and landscapes.

References

1. Solberg, B. Conflicts Management and Public Participation in Land Management / B. Solberg, S. Miina // *EFI Proceedings* 14 – 1997, pp.340.
2. Hellström, E. Conflict cultures – Qualitative comparative analysis of environmental conflicts in forestry / E. Hellström // *Silva Fennica Monographs* 2, 2001. The Finnish Society of Forest Science, The Finnish Forest Research Institute. – 2001. – pp.109. [online 29 July 2008] URL: <http://www.metla.fi/silvafennica/full/smf/smf002.pdf>
3. Niemelä, J. Identifying, managing and monitoring conflicts between forest biodiversity conservation and other human interests in Europe / J. Niemelä, J. Young, D. Alard // *Forest Policy and Economics* 7 – 2005, pp. 877-890.
4. Janse, G. Ottitsch A Factors influencing the role of non-wood forest products and services / G. Janse, A. O. Forest Policy and Economics 7, (2005). pp. 309-319.
5. Parrotta, J. (eds) (2006). Cultural heritage and sustainable forest management: The role of traditional knowledge / J. Paritta, M. Agnoletti, E. Johann // *Proceedings of the IUFRO-MCPFE Conference*, 8-11 June 2006 in Florence. MCPFE Liaison Unit, Warsaw – 2006.
6. Appelstrand, M. Participation and societal values: the challenge for lawmakers and policy practitioners / M. Appelstrand // *Forest Policy and Economics* 4 (2002) pp.281-290.
7. Buttoud, G. The evaluation of forest policies and programmes. *EFI Proceedings* No. 52. European Forest Institute, Joensuu, Finland. 2004.
8. Buttoud, G. Participation in forest policy processes: apple-pie, or new mode of governance? / G. Buttoud – 2006.
9. Shannon, M. A. Participation as social inquiry and social learning / M. A. Shannon // *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*. 157 (2006) 10: 430-437. – *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 157-10, - 2006, pp.429.
10. Merlo, M. Transformation of environmental recreational goods and services provided by forestry into recreational environmental products. / M. Merlo, E. Milocco, R. Panting, P. Virgiliotti // *Forest Policy and Economics* 1: 127-138 Andrian G, Musumeci L, Pettenella D, Secco L (2002) // *Cross-sectoral linkages in mountain development. Italy Case Study*. FAO Forestry Department – Policy and Institutions Branch, Rome. p. 68.
11. Cabbage, F. Policy instruments to enhance multi-functional forest management. *Forest Policy and Economics* – 2007, 9:pp. 833-851
12. Perrot-Maitre, D. Case Studies of Markets and Innovative Financial Mechanisms for Water Services from Forests / D. Perrot-Maitre, P. Davis [online 11 February 2009] URL: <http://www.forest-trends.org/documents/publications/casesWSoff.pdf>. –2001

13. Pagiola, S. Selling Forest Environmental Services – Market-based Mechanisms for Conservation and Development / S. Pagiola, J. Bishop, N. Landell-Mills // Earthscan. London. – 2002.
14. Landell Mills, N. Silver bullet or fool's gold? A global review of markets for forest environmental services and their impact on the poor. Instruments for sustainable private sector forestry series / N. Landell Mills, N. Porras // International Institute for Environment and Development, London, UK. [online 10 February 2009] URL: <http://www.iied.org/pubs/pdfs/9066IIED.pdf>.
15. Wunder, S. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental service programs in developed and developing countries / S. Wunder, S. Engel, S. Pagiola // Ecological Economics, 65 – 2008: pp. 834-852.
16. Wunder, S. Payments for environmental services: some nuts and bolts. CIFOR Occasional Paper / S. Wunder // No. 42. [online 10 February 2009] URL: http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-42.pdf
17. Engel, S. Designing payments for environmental services in theory and practice / S. Engel, S. Pagiola, S. Wunder, Water services and water policy in Italy // Development and environmental management: experiences and case studies. Springer. 65-80. practice: an overview of the issues. Ecological Economics 65. – 2008. – p. 663-674.
18. Katoomba Group. Ecosystem Marketplace: The PES Matrix. [online 10 February 2009] URL: http://ecosystemmarketplace.com/documents/acrobat/PES_MATRIX_06-16-08_oriented.pdf - 2008.
19. Mantau, U. Recreational and environmental markets for forest enterprises – A new approach towards marketability of public goods / U. Mantau, M. Merlo, W. Secot, B. Welcker. // CABI Publishing: Wallingford, UK. – 2001.
20. Merlo, M. Valuing Mediterranean forests. Towards total economic value / M. Merlo, L. Croitoru // CABI Publishing, Wallingford, UK. – 2005.
21. Cesaro, L. The multifunctional role of forests – policies, methods and case studies / L. Cesaro, P. Gatto, D. Pettenella // EFI Proceedings No. 55. European Forest Institute, Joensuu, Finland. – 2008.
22. Rametsteiner, E. The role of Governments in SFM-certification. Discussion Paper Nr. P/2000-1 / E. Rametsteiner // Forest Sector Policy and Economics, University of Agricultural Sciences, Vienna. – 2000.
23. European Union. Nature 2000: challenges and opportunities. Interpretation Guide. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, Belgium. – 2003.
24. Secco, L. Participatory processes in forest management: The Italian experience in defining and implementing forest certification schemes / L. Secco, D. Pettenella // Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 157 (2006) 10: 445-452.
25. Yin, RK. Applications of Case Study Research. Applied Social Research Methods Series, Sage / RK. Yin // Newbury Park CA, Vol. 34. – 1993.
26. Marshall, E. Practical tools for researching successful NTFP commercialization: a methods manual / E. Marshall, J. Rashton, E. Schreckenbach // United Kingdom Department for International Development (DFID), Project R7925, Forestry Research Programme. – 2006
27. Pettenella, D. The “net-system model” in NTFP marketing: the case of mushrooms (Italy) / D. Pettenella, D. Maso, L. Secco // Small-scale rural forest use and management: global policies versus local knowledge Proceedings of the International Symposium, Gérardmer, 23-27.7.2008 (Buttoud G ed) AgroParisTech, Conseil Général des Vosges, The University of Queensland, IUFRO. – 167-176. – 2008.

Статья поступила в редакцию 01.07.09.

Д. Петтенелла, П. Гатто, Л. Секко

ПЛАТА ЗА УСЛУГИ ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИТАЛЬЯНСКОГО ОПЫТА В ЛЕСНОМ СЕКТОРЕ

Анализируются возможности различных по сложности моделей платы за услуги по окружающей среде (ПУОС) на примере лесных услуг с акцентом на экологический туризм. Анализ показывает, что рынки различного рода лесных услуг в Италии имеют отличия по готовности и размерам. Проявление их результативности широко варьирует. Для окончательной оценки реальных возможностей исполнения ПУОС в Италии требуются дальнейшие исследования.

Ключевые слова: плата за услуги по окружающей среде, мультифункционально-ориентированное лесоводство, инновации, лесная политика.

ПЕТТЕНЕЛЛА Давиде – профессор кафедры земельных, сельскохозяйственных и лесных систем Университета Падуа. Научные интересы – лесная экономика и маркетинг лесных продуктов. Автор 340 научных работ. E-mail: davide.pettenella@unipd.it.

ГАТТО Паола – профессор кафедры земельных, сельскохозяйственных и лесных систем Университета Падуа. Научные интересы – лесная экономика и лесная политика. Автор 120 научных работ. E-mail: paola.gatto@unipd.it.

СЕККО Лаура – доктор философии, кафедра земельных, сельскохозяйственных и лесных систем Университета Падуа. Научные интересы – лесная экономика и лесная политика. Автор 70 научных работ. E-mail: laura.secco@unipd.it.

UDC 630*27

C. C. Konijnendijk

URBAN FORESTRY INNOVATIONS IN SCIENCE-PRACTICE COLLABORATION

The demands of modern, urbanising society require major changes in forestry and other types of natural resource management. More cross-sectoral, participatory, multi-disciplinary approaches have been called for, as well as better integration between science, policy and implementation. The concept of urban forestry offers an interesting example of innovation in forestry to meet current challenges. This article draws upon examples from urban forestry related to scientist-practitioner networking, knowledge brokers, and decision support, with the aim to provide inspiration for enhanced science-policy-public linking in forestry at large.

Key words: urban forestry, forest science, urbanisation, international projects, innovations.

Introduction. The demands of modern, urbanising society require major changes and perhaps even a paradigm shift within forestry and other types of natural resource management [1]. More cross-sectoral, participatory, multi-disciplinary approaches have been called for. With its strong rural roots, forestry runs the risk of losing its relevance if it cannot find ways to contribute to these broader approaches to serve urban societies.

In a lead article in the *The Forestry Source*, the monthly newspaper of the Society of American Foresters (SAF), former SAF President John Helms (2003) [2] makes an attempt to identify a set of core values defining the common base of forestry and uniting professional foresters in a changing society. Helms mentions, for example, the recognition that forests are a fundamental source of global health and welfare and the fact that forests must be sustained through simultaneously meeting environmental, economic, and community aspirations and needs. But also mentioned by Helms are core values related to foresters' dedications to sound forest management and conservation and to serving land owners as well as society by providing sound knowledge and professional management skills. Contributions like this to the discourse about the 'core' and future of forestry show that the profession is struggling to define a strong and distinct common basis. Obviously forestry's societal relevance is a key aspect in the debate.

The discussion about forestry's societal relevance also affects forest science which has traditionally been catering specifically for forestry practice. As complex problems in society increasingly require broader, cross-sectoral and multidisciplinary approaches, forest science also needs to reconsider its role. Forest science needs to produce theories and knowledge that are of relevance also within a broader land use and natural resource management context. It has been argued that if forest science will not live up to this challenge, it could gradually lose its relevance [3].

If forest science is to produce theories, approaches and knowledge relevant to meeting societal problems and challenges, it may need to move closer to its customers, e.g. to land use and natural resource policy-makers, but also society at large. International organisations such as the International Union of Forest Research Organization's (IUFRO) have taken up this challenge, for example in identifying and promoting ways to strengthen the science-policy interface in forestry [4].

Research should be geared towards having policy relevance and ideally research needs are (at least to a large extent) defined together with policy makers and other 'customers'. Moreover, research outcomes need to be properly 'translated' and packaged for use in a decision making and societal context. Janse and Konijnendijk (2007) [5] extend the science-policy interface to a 'science-policy-public'

interface, thus recognising the need for forest science to serve policy-makers as well as the public at large.

In the improved links between science, policy and society, the group of scientists and policy-makers should be extended beyond the limited field of forestry. The role of forests in the climate change debate, for example, shows that forestry is only one of the fields with an interest and role to play.

Urbanisation is another driver of greater policy-science and cross-sectoral collaboration related to forests. This article looks at 'urban forestry' as promising example of innovation regarding forestry, e.g. in terms of focus of actual societal needs, involving a wide range of disciplines and professions, and greater focus on policy-science collaboration. The latter aspects will be the particular focus of this article.

The emergence of Urban Forestry.

The concept of urban forestry was developed in response to the demand for more integrative, problem-oriented approaches to taking care of city trees and other green space. It has its roots in practice, as North-American green management practitioners dealing with e.g. Dutch Elm Disease called for integrated approaches to better deal with the challenges of modern cities.

Miller (1997) [6] has defined urban forestry as "an integrated, city wide approach to the planting, care and management of trees in the city to secure multiple environmental and social benefits for urban dwellers". A more elaborated definition was provided by Grey and Deneke (1986) [7], who stress urban forestry's "multifaceted" character, as it deals with woodlands, groups of trees, and individual trees where dense conglomerations of people live, involves a wide variety of habitats, and is concerned with a great range of benefits and problems. Later, definitions in e.g. Europe have built on this approach [8], although the definition of what urban forestry encompasses differs between Europe and North America (table 1).

The strengths of the concept of urban forestry include its being:

- integrative, incorporating different elements of urban green structures into a whole (the 'urban forest'), and ranging from technical to strategic dimensions of natural resource management;
- strategic, aimed at developing longer-term policies and plans for urban tree resources, connecting to different sectors, agendas and programmes;
- inter-/multidisciplinary, involving experts from natural as well as social sciences;
- participatory, aimed at developing partnerships between all stakeholders;
- aimed at multiple benefits, stressing the economic, environmental and socio-cultural goods and services urban forests can provide; and urban, i.e. recognising and valuing rather than combating the challenges posed by urban societies and urban environments [9].

Urban forestry has gradually gained following among scientists and practitioners across the world, including Europe. Here, an important role in the promotion of urban forestry was played by initiatives such as COST Action E12 'Urban Forests and Trees', a network of more than 100 experts from 22 European countries financed by the European Cooperation in the field of Science and Technology [9].

In addition, several international and national research programmes and projects have been carried out and the launch in the year 2002 of a new peer-reviewed journal, *Urban Forestry & Urban Greening*, strengthened urban forestry as a field of scientific interest. This also shows, however, that initial urban forestry networking in Europe was primarily science-driven, with limited involvement of policy makers and practitioners. This in contrast to North America, where through involvement of federal and state governments in policy, science and implementation, a strong policy/science interface has been created within urban forestry.

Still, in spite of its short history, European urban forestry has generated some good examples related to strengthening the policy/science interface. Three categories of these good practices are discussed here: networking between scientists and practitioners, the role of knowledge brokers, and the role of science in support decision-making. The definitions of Urban Forestry in North America and Europe are presented at table 1.

Networking between scientists and practitioners.

The first example refers to networks of scientists, policy-makers and practitioners involved in urban forestry. The European Forum on Urban Forestry (EFUF) was set up on the initiative of the International Union of Forest Research Organisations in 1998 [9]. The event, which changes location/city every year, provides a meeting place for practitioners, scientists and educators involved with the planning and management of urban forests, from woodland to urban parks and street trees. Participants come from across Europe, as well as from other parts of the world.

Table 1

Urban forestry definitions in North America and Europe (from Konijnendijk et al., 2006).

North America	Europe
All woody and associated vegetation in and around dense human settlements, ranging from small communities in rural settings to metropolitan areas. Traditional focus on street trees.	‘Broad’ definition similar to North American approach. ‘Narrow’ definition focuses on woodland in and near urban centers (managed for amenity values), based on town forestry tradition.
Highly multidisciplinary. Arborists have been more prominent than in Europe.	Highly multidisciplinary. Foresters have played an important role from the town forestry perspective.
Urban forestry provides multiple goods and services. Environmental services have been given increasing focus (e.g., air pollution reduction, climate moderation).	Urban forestry provides multiple good and services. Social services have been prioritised (recreation, health).

Every year, the EFUF takes up an actual theme within urban forestry, such as financing, public involvement, partnerships, education and training, or management innovations (see Table 2). The first edition of the EFUF was held in Wuppertal, Germany, in 1998. The 2009 EFUF, held in Arnhem, Netherlands was the 12th Forum. It focused on the theme of how to promote ‘green city values’ through an urban forestry and partnership approach [10].

Table 2

Themes of the twelve editions so far of the European Forum on Urban Forestry

Year	City (or region)	Country	Theme
1998	Wuppertal	Germany	Multiple-use of town forests in international comparison
1999	Aarhus	Denmark	Communicating urban forests
2000	Budapest/ Gyarmatpuszta	Hungary	Paying for urban forestry
2001	Durham	United Kingdom	Partnership-led regeneration
2002	Trondheim	Norway	The urban forests - between dreaming and doing; the dynamics of developing the experiential quality of urban woodland
2003	Arnhem and Flanders	Netherlands and Belgium	Educating the urban foresters
2004	Stockholm	Sweden	Urban woods - to be used by everyone
2005	Celje	Slovenia	Urban forests: a different trade mark for cities and forestry
2006	Florence/Vallombrosa	Italy	Urban forestry: bridging cultures, disciplines, old attitudes and new demands
2007	Gelsenkirchen	Germany	New forests after old industries
2008	Hämeenlinna	Finland	Forest recreation and tourism serving urbanised societies
2009	Arnhem	Netherlands	Urban forestry – Working together for green city values

One major objective of the EFUF has been to ‘team up’ policy-makers and managers together with scientists involved in research and development of relevance for urban forestry (Figure 1). These scientists thus have had the opportunity to disseminate their findings directly to the right (and European) audience. On the other hand, policy-makers and managers have had the chance to identify some of the most pressing issues they would like to see studies. During the first twelve years of its existence, the Forum has contributed to important exchange of knowledge, experience and research questions between the participants.

The role of knowledge brokers. The second innovation example deals with so-called ‘knowledge brokers’ in urban forestry. Reviews have shown that quite a lot of relevant research is ongoing within

urban forestry – but often research results do not reach decision-makers, e.g. because they appear in scientific literature not read by policy makers [11]. For research to become policy relevant, it needs to be ‘packaged’ in a form which is digestible to decision makers and managers.

An important role here can be played by so-called ‘knowledge brokers’ [12], institutions that take the role of ‘translating’ and disseminating research findings relevant for e.g. urban forestry. Knowledge brokers operate at the interface between science and policy/practice. On the one hand they translate research findings into a digestible form for decision-makers and managers, while on the other these knowledge brokers help practitioners to better express their research needs.

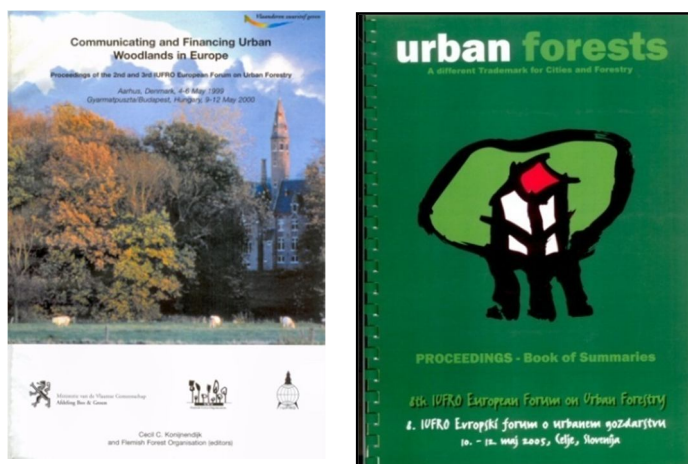


Fig. 1. The European Forum on Urban Forestry has brought together researchers and practitioners to e.g. discuss research needs and findings. Here are the proceedings from the EFUFs in Aarhus and Budapest (left) and Celje (right)

The success of knowledge brokering in the United States can serve as positive example. The USDA Forest Service, through regional urban forestry research stations, undertakes and disseminates relevant research [13]. Many of the States also employ urban forestry coordinators and/or extension services that have the dissemination of state-of-art knowledge as primary objective.

European examples of knowledge brokers have included the National Urban Forestry Unit (NUFU) in the UK, which was unfortunately dissolved several years ago, primarily due to lack of public funding. NUFU was set up in 1995 as an independent organisation championing the need for integration of tree planting, conservation and management with different agendas, such as health, land reclamation, built development, heritage, and education [11]. NUFU has been initiating and carrying out research based on needs expressed by the urban forestry sector. It has also supported a large number of local and regional urban forestry projects aimed at providing multiple societal benefits through tree and forest planting and management. But arguably its main merit has been acting as a link between policy-makers, practitioners, interest groups, and the scientific community. It produced, for example, a series of good practice booklets in which results of relevant research are summarised in a highly accessible way.

Presently, the UK Commission for Architecture and the Built Environment, the government’s advisor on for example public space issues, has taken over part of NUFU’s role. It has issued, for example, a series of interesting publications on green space planning and management issues, including ‘manuals’ on how to develop better, sustainable and multifunctional urban green spaces [14], (figure 2).

Support to sound decision making. The third and final example concerns the role of science in providing information and tools for sound decision-making in European urban forestry. A key important role of science is to provide credible, value-neutral, relevant and accessible knowledge for decision making, as well as decision-support tools [4], [15]. In forest science, for example, a strong tradition of developing sophisticated models to assist forest management and silvicultural decisions exists. Decision-support systems at policy level are of more recent date. Examples of these are the various criteria and indicator (C&I) schemes.

Within urban forestry, various projects funded by the European Union have resulted in tools for integrating state-of-art information in decision-making. Moreover, better ways of incorporating the preferences and demands of local residents have also been sought.

An example of the latter was the so-called NeighbourWoods project, aimed at the development of innovative tools for the planning and management of urban woodlands in Europe. The project developed a series of 'tools' to enhance decision-making, for example by better collaboration between woodland managers, policy makers, interest groups and local residents [5]. In a case study in Helsinki, for example, a tool for 'social mapping' was developed and implemented. Researchers supported the city's green space managers by mapping the preferences of local inhabitants for nearby green areas. Through GIS-analysis, it has become possible to identify those green areas that are appreciated for particular reasons, as well as areas that are facing problems [16].

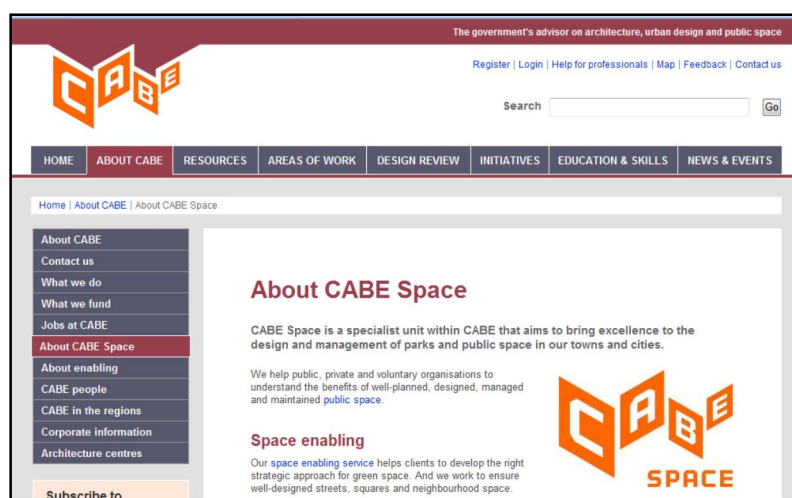


Fig. 2. The UK Commission for Architecture and the Built Environment's 'space' (<http://www.cabe.org.uk/about/cabe-space>) section acts as knowledge broker in e.g., green space planning and management

Other examples of international projects aimed at enhancing science-policy(-management) collaboration include the GreenKeys project financed under the so-called Interreg Programme [17]. This partnership between local authorities and scientists from Central Europe prepared, among other, a manual for the development of green space policies. In a bilateral collaboration ('twinning') project between Denmark and Malaysia to support sustainable forest management, decision-support in urban forestry was one of the central components [18]. For a local forest reserve near Kuala Lumpur under high urbanisation pressure, for example, an assessment was made of the various benefits and costs involved with the alternatives of forest conservation versus transformation of the area into a housing area. The analysis showed that benefits of keeping the forest in terms of e.g., timber, non-wood forest products, carbon sequestration, recreation and tourism, and higher real estate prices were higher than the benefits of selling the forest off for housing development.

Conclusions. As described, urban forestry as a relatively new approach to dealing with the demands of urbanising societies provides some interesting examples for strengthening the science/policy interface in forestry and green space management at large. Urban forestry is on the 'cutting edge' of urbanising natural resource management. From the start, it has had a clear problem-solving focus. Its operating in dynamic and high-pressure urban environments makes close links between different disciplines and fields, as well as between science, policy and the public a necessity.

As forestry at large is facing the challenge of staying relevant in rapidly changing society, urban forestry's lessons can be very useful. The policy-science(-public) innovations described in this paper, related to networking between scientists and practitioners, the involvement of knowledge brokers, and information support to decision-making, are all highly relevant to forestry, and also already applied here and there. Still, the good practices described above are not widespread and further development is needed.

Finally, another important lesson from urban forestry is that forestry needs to embark – more than it has done so far – on strategic alliances with other disciplines and professionals.

References

1. Kennedy, J. J. Values, beliefs and management of public forests in the Western world at the close of the twentieth century/ J. J. Kennedy, M. P. Dombeck, N. E. Koch // *Unasylva*. – 49(192). – 1998. – Pp. 16-26.
2. Helms, J. A. Shared values define the common base of forestry / J. A. Helms // *The Forestry Source* 4(4), 2003. – Pp.3.
3. Hasanagas, N. D. Die Nachhaltigkeit der forstlichen Wissenproduktion: Schwachstellenanalyse aus wissenschaftssoziologischer Betrachtungsweise / N. D. Hasanagas, I. Wöhler // *Forstarchiv* 73, 2002. – Pp. 236-241.
4. Lewis, R. Forest science-policy interface / R. Jr. Lewis, N. E. Kitch // IUFRO Task Force on Forest Science-Policy Interface – Papers presented at a Side Event of the Third Session of the Intergovernmental Forum on Forests, IUFRO. – Vienna, 1999. – Pp. 1-5.
5. Janse, G. Communication between science, policy and citizens in public participation in urban forestry – Experiences from the Neighbour Woods project / G. Janse. and C.C. Konijnendijk // *Urban Forestry & Urban Greening* 6(1), 2007. – Pp. 23-40.
6. Miller, R. W. Urban forestry: planning and managing urban greenspaces. Second edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. ISBN 0-13-458522-4 / R. W. Miller. – 1997.
7. Grey, G. W. Urban forestry. John Wiley and Sons, New York, NY / G. W. Grey, F. J. Deneke. – 1986.
8. Konijnendijk, C. C. Defining urban forestry – A comparative perspective of North America and Europe / C. C. Konijnendijk, R. M. Richard, A. Kenney // *Urban Forestry & Urban Greening* 4(3-4). – 2006. – P. 93-103.
9. Konijnendijk, C. C. A decade of urban forestry in Europe / C. C. Konijnendijk // *Forest Policy and Economics* 5(3). – 2003. – P. 173-186.
10. City of Arnhem. Website, 12th European Forum on Urban Forestry – ‘Working together for green city values’. Retrieved April 22, 2009, from <http://www.arnhem.nl/content.jsp?objectid=69936>.
11. Konijnendijk, C. C. Enhancing the forest policy/science interface in Europe: Urban forestry leading the way / C. C. Konijnendijk // *Scandinavian Journal of Forest Science* 19 (suppl. 4). – 2004. – P. 123-128.
12. Litfin, K. T. Ozone discourse: Science and politics in global environmental cooperation / K. T. Litfin // Columbia University Press, New York, 1994.
13. Dwyer, J. F. Connecting people with ecosystems in the 21st century: an assessment of our nation's urban forests / J. F. Dwyer, D. J. Noble, S. M. Sissini // Nowak Gen.Tech.Rep. PNW-GTR-490 US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR. – 2000.
14. CABE, Website, Commission for Architecture and the Built Environment. Retrieved April 24, 2009, from <http://www.cabe.org.uk/>.
15. Shaw, C. G. III. Working with knowledge at the science/policy interface: a unique example from developing the Tongass Land Management Plan / C. G. III Shaw, F. H. Everest, D. N. Swanson // *Computers and Electronics in Agriculture* 27(2000). – 2000. – P. 377-387.
16. Tyrväinen, L. Tools for mapping social values of urban woodlands and other green areas / L. Tyrväinen, K. Mäkinen, J. Schipperijn // *Landscape and Urban Planning* 79(1). – 2007. – P. 5-19.
17. Costa, C.S. GREENKEYS@ Your City – A guide for urban green quality. GreenKeys project, Dresden, etc. / C. S. Costa, G. Allan, H. Kasperidus. – 2008.
18. Konijnendijk, C. C. The right forest for the right city: Decision-support for land-use planning through assessment of multiple forest benefits / C. C. Konijnendijk, B. J. Thorsen, L. Tyrväinen, S. Anthon, A. Rahim Nik, H. Norini, A. N. Ghani // *Allgemeine Forst- und Jagdzeitschrift* 178(4). – 2007. – P. 74-84.
19. Konijnendijk, C. C. NeighbourWoods for better cities – Tools for developing multifunctional community woodlands in Europe / C. C. Konijnendijk, J. Schipperijn // Danish Centre for Forest, Landscape and Planning, KVL, Frederiksberg. – 2004.

Статья поступила в редакцию 20.04.09

С. С. Конийендийк

ГОРОДСКОЕ ЛЕСОВОДСТВО: ИННОВАЦИИ В СОТРУДНИЧЕСТВЕ НАУКИ И ПРАКТИКИ

Современное урбанизированное общество требует перемен в лесном хозяйстве и других формах управления природными ресурсами. В настоящее время существует необходимость в расширении междисциплинарных, многоплановых подходов, а также лучшей связи науки, политики и практики. Концепция городского лесоводства предлагает интересный пример инноваций в лесном хозяйстве, отвечающих требованиям современности.

Ключевые слова: городское лесоводство, наука о лесе, урбанизация, международные проекты, инновации.

КОНИЙЕНДИЙК Сесиль С. – профессор консалтинговой фирмы Вудскейп и Датского центра леса, ландшафта и планирования, Университет Копенгагена, Дания. E-mail: cecil@woodscape-consult.com.

УДК 551.5:634.9 (470.343)

Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин, А. Е. Смыков

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ В XX СТОЛЕТИИ

Проведен анализ многолетних данных по динамике средней месячной температуры воздуха и сумме осадков, радиального годичного прироста деревьев и продуктивности древостоев. Показано, что за последние полвека существенно повысилась продуктивность средневозрастных и приспевающих древостоев основных лесообразующих пород Республики Марий Эл. Оценка непосредственного влияния климатических изменений на состояние и продуктивность лесов сопряжена со многими методическими трудностями.

Ключевые слова: изменение климата, продуктивность лесов, ксилофильные насекомые.

Введение. В настоящее время всемирная сеть метеорологических станций отмечает увеличение среднегодовой температуры воздуха практически на всей территории нашей планеты. Причинам и последствиям этого феномена, признаки которого уже наметились с 70-х годов XX века и резко проявились в последнее десятилетие, посвящено в настоящее время множество публикаций [1–10]. Их авторы считают, что глобальное потепление климата, которое связано с увеличением в атмосфере концентрации CO_2 и других парниковых газов, приводит к изменению количества и пространственного распределения выпадающих осадков, что, в свою очередь, отражается на продуктивности растительного покрова и состоянии всей биоты. Установлено, что характер изменения климата и реакция на него биоты неодинаковы в различных природных зонах Земли [11]. Это положение свидетельствует о необходимости оценки происходящих изменений на региональном, а затем на глобальном уровнях.

Цель нашей работы заключалась в проведении анализа многолетней динамики метеорологических условий на территории Республики Марий Эл и оценке влияния происходящих изменений на состояние лесов.

Материал и методика исследований. Исходным материалом для проведения анализа изменений климата являлись данные наблюдений гидрометеорологических станций «Йошкар-Ола» и «Нартас» за период с 1899 по 2008 гг. Для оценки влияния происходящих изменений климата на состояние лесов были привлечены данные по динамике радиального прироста более 450 деревьев сосны в различных типах лесорастительных условий, материалы ежегодных учетов древостоев на 17 постоянных пробных площадях, а также официальные сведения о государственном учете лесного фонда. При обработке материала использовались стандартные методы математической статистики.

Результаты исследований и их обсуждение. Анализ многолетних рядов метеорологических данных показал, что изменения температуры воздуха на территории Марий Эл имеют те же общие закономерности, что и в других регионах России [12–15]. Потепление второй половины XX века затрагивает только зимние месяцы (рис. 1), особенно февраль, средняя температура которого нарастает со скоростью $+5,1^\circ\text{C}$ за столетие (табл. 1). Временной тренд показателя в теплый период года фактически отсутствует, а с июля по сентябрь имеет даже отрицательную направленность (до $-1,5^\circ\text{C}$ за столетие). Годичные флуктуации температуры воздуха в году во много раз перекрывают величину временного тренда: размах колебаний составляет $12,3^\circ\text{C}$ для зимних месяцев и $6,0^\circ\text{C}$ для летних. Ряды динамики средней температуры воздуха каждого месяца слабо связаны между собой. Положительные аномалии одного месяца часто перекрываются

отрицательными аномалиями другого. Какой-либо ритмичности в изменениях показателя не обнаружено, и его динамика представляет собой практически бессвязный белый шум с размытым спектром.

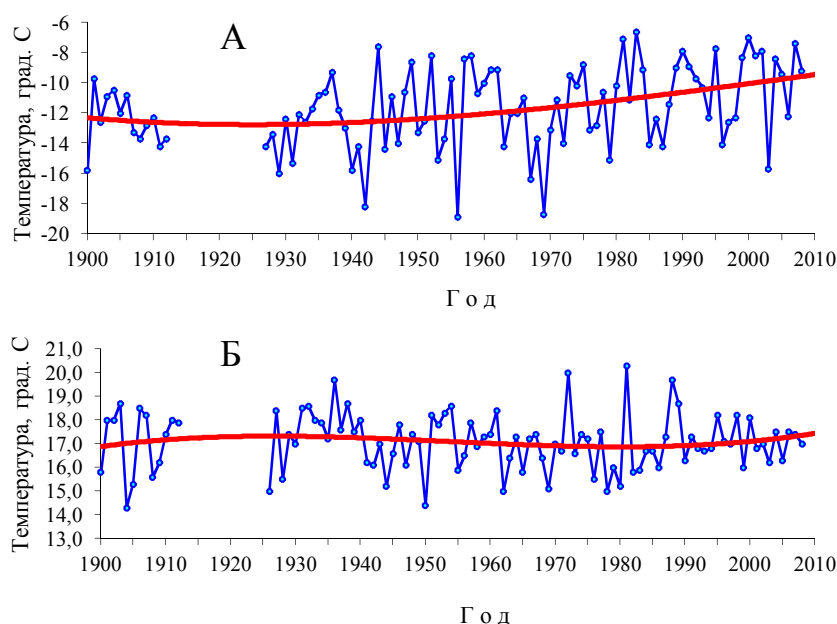


Рис. 1. Динамика средней температуры воздуха по ГМС «Йошкар-Ола» в зимний (А) и летний (Б) сезоны года

Таблица 1

Параметры уравнения $Y = a \cdot X + b$ линейного тренда изменения средней месячной температуры воздуха по ГМС Йошкар-Ола за период с 1926 по 2008 годы ($X_0 = 1900$ г.)

Параметр	Значение параметров уравнения по месяцам											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
a	0,037	0,051	0,039	0,037	0,011	0,006	-0,001	-0,015	-0,003	0,011	0,004	0,041
b	-15,0	-15,6	-8,5	1,5	11,0	16,0	18,5	17,4	10,5	2,7	-4,0	-12,7
R2	0,042	0,095	0,108	0,101	0,016	0,006	0,000	0,045	0,003	0,018	0,001	0,062

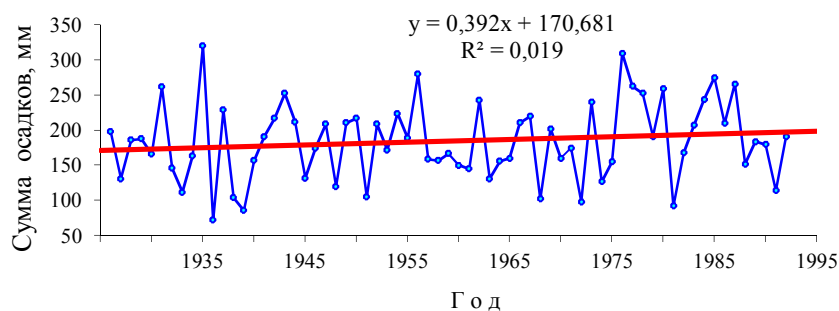


Рис. 2. Динамика суммы осадков за май-август

Изменения суммы осадков и гидротермического коэффициента (ГТК) также имеют тенденцию к небольшому возрастанию, однако годовичные флуктуации значений показателей значительно перекрывают величину тренда (рис. 2, 3).

Для анализа динамики годовичных радиальных приростов были выбраны наиболее старые деревья сосняков, произрастающих на верховых болотах Марийского Полесья. Данный объект изучения был выбран потому, что, во-первых, многие массивы сосняков сфагновых практически не затронуты хозяйственной деятельностью. Здесь нередко встречаются деревья в возрасте до 300–320 лет. Во-вторых, древостой в этих биотопах, находясь в крайне жестких условиях

существования, чутко реагируют на изменение параметров климата. Для анализа были взяты керны у 146 деревьев, произрастающих в семи различных болотных массивах, расположенных на территории заповедника «Большая Кокшага», Старожильского и Визимьярского участковых лесничеств. В общей сложности измерено более 22 тысяч годовичных колец.

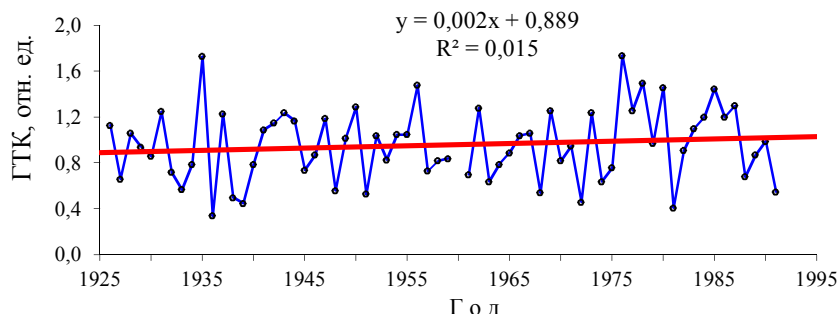


Рис. 3. Динамика влагообеспеченности вегетационного периода

Анализ цифрового материала показал, что однозначно интерпретировать полученные данные сложно. Это связано с тем, что популяции деревьев очень неоднородны по характеру динамики радиального прироста слагающих их особей [16–18], что проявляется в разной ответной реакции на годовичные колебания метеоусловий (табл. 2, 3).

Таблица 2

Характер разложения общей дисперсии ширины годовичных колец деревьев сосны на верховых болотах Марийского Полесья между различными факторами

Название болота	Доля вклада факторов, %			Отрезок времени
	энергия роста дерева	погодные условия года	особенности реакции дерева	
1. Илюшкино	14,0	14,4	71,6	1850 -1988 гг.
2. Безымянное	33,9	12,7	53,4	1905 -2005 гг.
3. Визимьярское	15,0	21,5	63,5	1814 -2007 гг.
4. Красный Яр	26,2	19,5	54,3	1915 -2007 гг.
5. Кундышское	14,4	37,3	48,4	1892 -2007 гг.
6. Изи-Куп	9,3	39,5	51,2	1916 -2005 гг.
7. Тетёркино	6,0	52,3	41,7	1900 -2006 гг.

Таблица 3

Матрица коэффициентов парной корреляции между рядами ширины годовичных колец деревьев сосны в различных биотопах на верховых болотах Марийского Полесья

Название болота	Значения статистических показателей*						
	N	M _x	min	max	S _x	A	E
1. Илюшкино	595	0,149	-0,584	0,888	0,284	0,145	-0,523
2. Безымянное	190	0,175	-0,449	0,789	0,258	0,013	-0,525
3. Визимьярское	66	0,195	-0,208	0,708	0,196	0,144	-0,264
4. Красный Яр	91	0,237	-0,517	0,777	0,289	-0,830	0,451
5. Кундышское	36	0,380	-0,070	0,761	0,195	-0,211	-0,194
6. Изи-Куп	190	0,432	-0,136	0,862	0,203	-0,063	-0,458
7. Тетёркино	276	0,397	-0,106	0,925	0,233	-0,028	-0,684

Примечание: N – общее число значений коэффициентов корреляции, шт; M_x – среднее арифметическое значение коэффициента корреляции; min, max – минимальное и максимальное его значения; S_x – среднее квадратическое отклонение величины коэффициента корреляции; A, E – коэффициенты асимметрии и эксцесса.

Характер роста древостоев в каждом из болотных массивов также сугубо специфичен, о чем свидетельствуют значения коэффициентов корреляции между рядами усредненных данных (табл. 4), изменяющиеся от -0,345 до 0,837. Сильнее всего отличаются от других биотопов древостой, произрастающие в болотах Безымянное и Визимьярское, слагающие отдельный кластер. Наиболее приближены к генерализованному временному ряду значения ширины годовичных колец древостоев, произрастающих в Старожильском лесничестве (болота Илюшкино, Изи-Куп и Тетёркино).

Т а б л и ц а 4

**Матрица коэффициентов парной корреляции между усредненными рядами ширины
годовых колец совокупности деревьев сосны в различных биотопах**

Название болота	Значения коэффициентов корреляции между биотопами					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
1. Илюшкино	1,000					
2. Безымянное	0,378	1,000				
3. Визимьярское	-0,275	-0,180	1,000			
4. Красный Яр	0,577	-0,127	-0,345	1,000		
5. Кундышское	0,651	0,250	-0,264	0,582	1,000	
6. Изи-Куп	0,810	0,248	-0,082	0,516	0,630	1,000
7. Тетёркино	0,622	-0,173	-0,104	0,666	0,620	0,837

Анализ индивидуальных и генерализованного рядов динамики радиального прироста деревьев показал, что отклонения значений ширины годовых колец от среднего уровня или временного тренда во вторую половину XX столетия и предшествующий период существенно не различаются между собой (рис. 4). Так, к примеру, величины прироста, сопоставимые с современной стадией депрессии, из которой древостой уже начали выходить, отмечались в XVIII–XIX веках. В динамике генерализованного ряда четко выделяется два главных ритма с периодом 104 и 52 года, а также ряд более мелких (рис. 5), объясняющих в целом около 60% исходной дисперсии показателя. Какой-либо достоверной связи динамики прироста с ходом температуры воздуха разных месяцев года, имеющим к тому же различную ритмику, выявить не удалось.

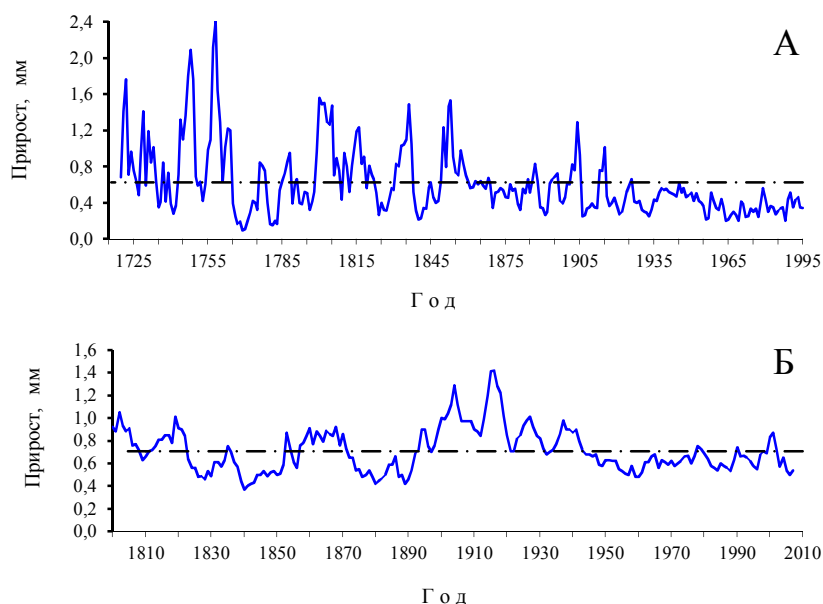


Рис. 4. Динамика годового радиального прироста деревьев сосны на верховых болотах Марийского Полесья: А – наиболее старое дерево в болоте «Илюшкино», Б – генерализованный ряд значений по 7 биотопам

Неоднородность популяций сосны по характеру роста слагающих их особей проявляется не только в древостоях, где возникают конкурентные отношения между индивидуумами за жизненное пространство, что отражается, несомненно, на величине их текущего прироста, но и при одиночном произрастании деревьев. Такие условия сложились, в частности, на сфагновой сплаvine оз. Кошеер, расположенного в заповеднике «Большая Кокшага», где реакция деревьев на изменение условий среды, так же как и в других биотопах, проявлялась по-разному, что делает проблематичной саму постановку вопроса о детерминации динамики их прироста ходом только одних метеорологических параметров. Общей чертой характера динамики радиального годового прироста деревьев в данных условиях, как было ранее нами показано [16], является

отсутствие четко выраженного возрастного тренда и наличие длительных периодов депрессии, сменяющихся очень короткими, но довольно мощными фазами экспрессии. На изменения климата во второй половине XX

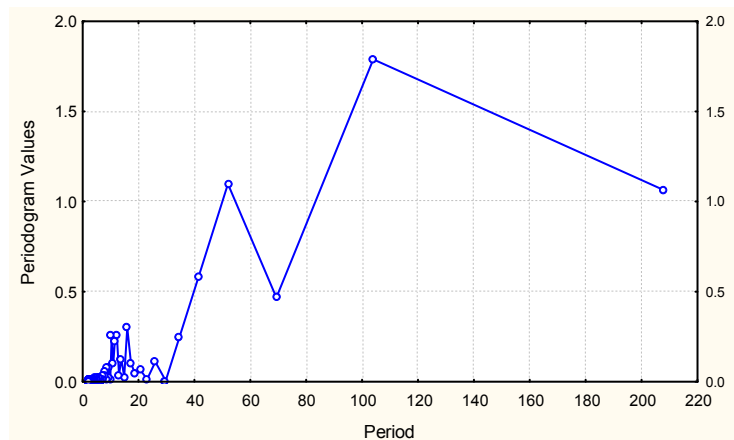


Рис. 5. Периодограмма генерализованного ряда радиального прироста деревьев сосны на верховых болотах Марийского Полесья на отрезке времени с 1800 по 2007 гг.

столетия деревья реагировали хотя и неодинаково, но в целом положительно.

В лесных биогеоценозах, расположенных не на болотах, а в более благоприятных эдафических условиях, ход радиального прироста деревьев усложнен не только неодинаковой реакцией их на годовичные изменения метеорологических параметров, но и наличием четко выраженного возрастного тренда, величина которого непостоянна, а также влиянием лесохозяйственной деятельности.

Все это еще более затрудняет решение задачи о влиянии текущих изменений климата на состояние данных древостоев и даже делает проблематичной саму ее постановку. Общей чертой динамики радиального годовичного прироста деревьев в данных условиях является наличие аperiодических резких флуктуаций величины показателя без четко выраженных периодов его депрессии и экспрессии, сопровождающихся сменой режимов частоты и амплитуды колебаний. Во второй половине XX столетия индекс радиального прироста изменялся волнообразно с периодом около 40–45 лет. Фаза снижения показателя, начавшаяся в 1953 году и завершившаяся в 1973, сменилась вновь фазой подъема, закончившейся в 1989 году (рис. 6). В настоящее время в большинстве сосняков Марий Эл отмечается депрессия роста.

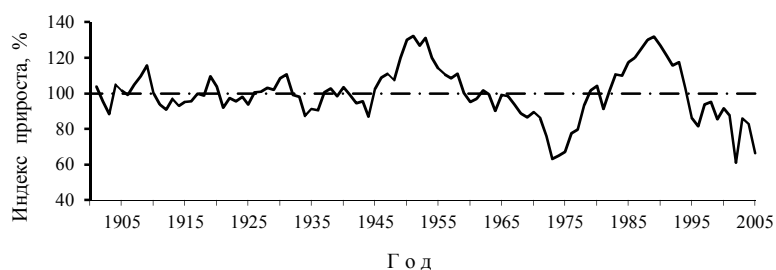


Рис. 6. Генерализованный ряд индексов радиального прироста деревьев в сосняках лишайниково-мошистых и брусничниковых Республики Марий Эл, построенный по данным 25 пробных площадей и 300 модельных деревьев

Проведенные нами исследования [18–20] показали, что в периоды его депрессии величина естественного отпада деревьев в сосняках была очень мала, а в периоды экспрессии резко возрастала, достигая в ряде случаев до 100–300 экз./га за год (рис. 7), что составляло, в зависимости от густоты древостоев, 10–18%. Ускорению отпада деревьев в эти периоды обострения конкурентной борьбы способствовали ксилофильные насекомые, наиболее активным видом среди которых являлась сосновая вершинная смолевка *Pissodes piniphilus* Hrbst. Связано ли возникновение вспышки массового размножения этого вредителя, которая была довольно мощной, но непродолжительной, с текущими изменениями климата? Вряд ли, поскольку эпизодические очаги смолевки возникали периодически в XIX–XX веках в различных регионах Европы [21–23]. На текущее состояние лесных биогеоценозов влияют не медленные изменения климата, к которым они могут постепенно адаптироваться, а погодные аномалии низкой обес-

печенности, т.е. возникающие 3–4 раза за столетие, нарушающие гомеостаз и надолго выводящие их из состояния равновесия [24, 25].

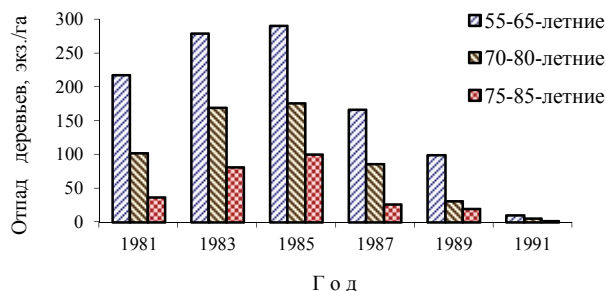


Рис. 7. Динамика отпада деревьев в загущенных сосняках брусничниковых в период экспрессии их радиального прироста и массового размножения *Pissodes piniphilus* Hrbst

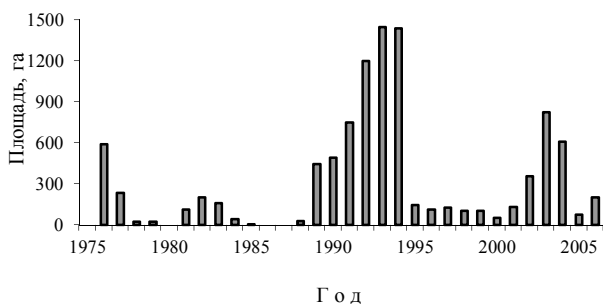


Рис. 8. Динамика площади очагов короеда типографа в ельниках Марий Эл

ству [29]. Анализ официальных данных государственного учета лесного фонда показал, что продуктивность древостоев этих возрастных категорий за вторую половину XX века возросла на 59–89 м³/га, или в 1,3–2,2 раза (рис. 9). Особенно сильно повысился средний запас стволовой древесины в березняках. Динамику продуктивности древостоев Марий Эл можно аппроксимировать набором следующих уравнений:

- средневозрастных древостоев:

$$M_C = 134,6 \cdot \{0,575 \cdot [1 - \exp[-(t-1953)/26,23]] + 1\}; R^2 = 0,85;$$

$$M_E = 147,6 \cdot \{0,631 \cdot [1 - \exp[-(t-1953)/27,05]] + 1\}; R^2 = 0,89;$$

$$M_B = 74,7 \cdot \{1,192 \cdot [1 - \exp[-(t-1953)/15,51]] + 1\}; R^2 = 0,93;$$

- приспевающих древостоев:

$$M_C = 165,2 \cdot \{1,069 \cdot [1 - \exp[-(t-1953)/97,85]] + 1\}; R^2 = 0,93;$$

$$M_E = 184,9 \cdot \{0,313 \cdot [1 - \exp[-(t-1953)/16,03]] + 1\}; R^2 = 0,78;$$

$$M_B = 122,2 \cdot \{0,871 \cdot [1 - \exp[-(t-1953)/20,57]] + 1\}; R^2 = 0,92;$$

где M – запас стволовой древесины в сосняках (С), ельниках (Е) и березняках (Б), м³/га;
 t – календарный год.

Анализ графиков и уравнений показывает, что запас стволовой древесины в березняках уже достиг своего предела, составляющего в средневозрастных древостоях 74,5 м³/га, а в приспевающих – 122,2 м³/га, и дальнейшего его увеличения ожидать, вероятно, не следует. То же самое можно сказать в отношении приспевающих ельников, запас древостоя в которых стабилизировался в 1973 году на средней отметке 184,9 м³/га. Продуктивность же сосняков и средневозрастных ельников продолжает пока увеличиваться.

Столь высокое повышение продуктивности древостоев, непропорциональное росту температуры воздуха за последние полвека, нельзя объяснить только изменением климата. Более значимым является, на наш взгляд, увеличение концентрации в атмосфере CO_2 и промышлен-

Исследования показали, что наиболее сильно изменилось во второй половине XX столетия состояние не сосняков, а ельников, площадь которых снизилась за это время на 68,8 тыс. га. Особенно сильно снизилась площадь спелых и перестойных древостоев (в 6,1 раза), в которых периодически возникали очаги массового размножения короеда типографа (рис. 8). Связано ли их возникновение с текущими изменениями климата? Отнюдь нет, поскольку они неоднократно возникали и в прошлом [26, 27].

Увеличение концентрации CO_2 в атмосфере и медленное, но неуклонное увеличение температуры воздуха в большей мере отражается, как считают исследователи [28–32], на изменении продуктивности древостоев, а не на величине крайне непостоянных показателей текущего годовичного прироста или отпада деревьев. Наиболее подходящими индикаторами данных изменений являются средневозрастные и приспевающие древостои, так как они менее всего подвергаются хозяйственному вмешатель-

ных 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).

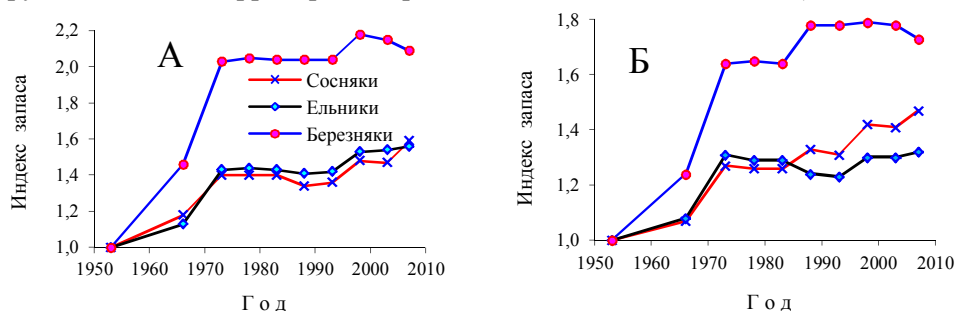


Рис. 9. Изменение продуктивности средневозрастных (А) и приспевающих древостоев (Б) Республики Марий Эл относительно уровня 1953 года

Определенное влияние оказывала и лесохозяйственная деятельность. Так, объем отпуска древесины на корню по всем видам пользования уменьшился в Марий Эл за это время в 4,6 раза (с 4,553 до 0,987 млн. м³). Особенно резко снизился объем заготовки древесины при рубках главного пользования (рис. 10). Объем заготовки древесины при рубках ухода варьировал незначительно и без явно выраженной тенденции к росту или снижению, а при прочих рубках, среди которых преобладали сплошные и выборочные санитарные, изменялся циклически: один пик волны пришелся на 1958 год, а другой – на послепожарный 1973 год.

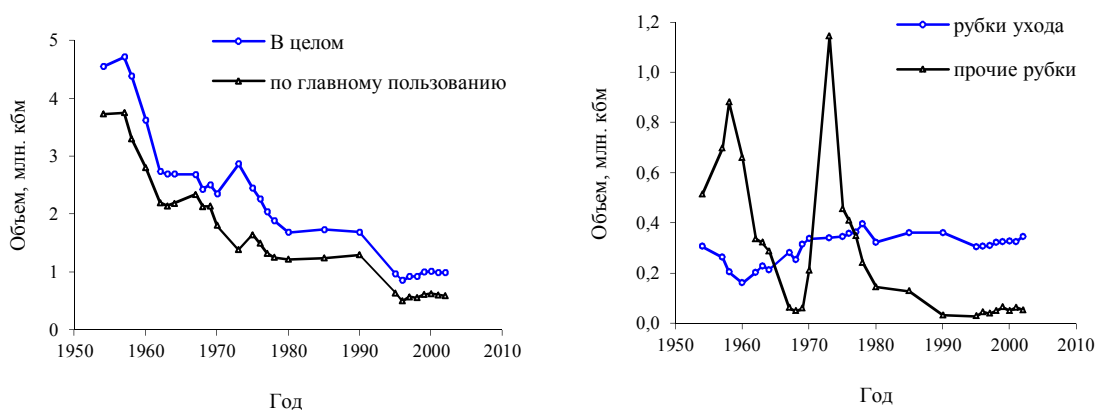


Рис. 10. Динамика отпуска леса на корню в Марий Эл за последние 50 лет

Повышение производительности древостоев в результате снижения объемов заготовки древесины происходит, по нашему мнению, через изменение микроклимата и уровня грунтовых вод в прилегающих к лесосекам насаждений, а также через другие каналы. Каждая вырубка представляет собой концентрацию вредных для леса организмов. Неблагоприятное воздействие вырубок на окружающие насаждения продолжается длительное время и пока еще слабо изучено.

Выводы.

1. Тенденции глобального потепления климата, отмеченные многими исследователями, проявляются и на территории Марий Эл.
2. Потепление происходит только в зимние месяцы, особенно в феврале, средняя температура которого нарастает со скоростью +5,1°C за столетие. Временной тренд показателя в теплый период года фактически отсутствует, а по июлю, августу и сентябрю имеет даже отрицательную направленность (до -1,5°C за столетие).
3. Годичные флуктуации температуры воздуха во все месяцы года во много раз перекрывают величину временного тренда: размах колебаний составляет 12,3°C для зимних месяцев и 6,0°C для летних.

4. Ряды динамики средней температуры воздуха по месяцам слабо связаны между собой.
5. Какой-либо ритмичности в годовых флуктуациях температуры воздуха не обнаружено.
6. Суммы осадков и гидротермический коэффициент имеют тенденцию к небольшому возрастанию, однако и здесь годовые флуктуации значений показателей значительно перекрывают величину временного тренда.
7. Оценка влияния изменений климата на состояние и продуктивность лесов сопряжена со многими методическими трудностями, связанными с различиями отклика на внешние воздействия как отдельных деревьев, так и древостоев в целом. Какой-либо достоверной связи динамики радиального прироста деревьев с ходом температуры воздуха разных месяцев года, имеющим различную ритмику, выявить не удалось.
8. За последние 50 лет существенно повысилась продуктивность средневозрастных и приспевающих древостоев основных лесообразующих пород Марий Эл, однако произошло это не только за счет изменения климата, но и за счет других факторов, роль которых остается пока малоизученной.

Список литературы

1. *Глобальное потепление*: Доклад Гринпис / Под ред. Дж. Легатта. – М.: МГУ, 1993.
2. *Ефимова, Н. А.* Эмпирические оценки изменений климата на континентах северного полушария в конце XX века / Н. А. Ефимова, Л. А. Строкина // *Изменения климата и их последствия*. – СПб.: Наука, 2002. – С. 93-104.
3. *IPCC: Climate change 2001: The Scientific basis / Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental panel of Climate Change / J. T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs et al.* // Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001. – 881 p.
4. *Израэль, Ю. А.* Изменение глобального климата. Роль антропогенных воздействий / Ю. А. Израэль, Г. В. Груза, В. М. Катцов, В. П. Мелешко // *Метеорология и гидрология*. – 2001. – № 5. – С. 5-21.
5. *Котляков, В. М.* Глобальные изменения климата: антропогенное влияние или естественные вариации? / В. М. Котляков // *Экология и жизнь*. – 2001. – № 1. – С. 44-47.
6. *Белов, С. В.* Причины изменения климата: человек или геологические процессы? / С. В. Белов, И. С. Ротфельд // *Использование и охрана природных ресурсов России: информационно-аналитический бюллетень*. – М.: НИИ-Природа. – 2004. – № 1. – С. 43-49.
7. *Сорохтин, О. Г.* Парниковый эффект: миф или реальность? / О. Г. Сорохтин // *Вестник РАЕН*. – 2001. – № 1. – С. 8-21.
8. *Сун, В.* Влияние антропогенных выбросов CO₂ на климат: нерешенные проблемы / В. Сун, С. Балюнас, К. С. Демирчан и др. // *Изв. РГО*. – 2001. – Т. 133, вып. 2. – С. 1-19.
9. *Ясаманов, Н. А.* Современный климат и парниковый эффект / Н. А. Ясаманов // *Известия РАЕН. Секция наук о Земле*. – 2003. – № 10. – С. 98-116.
10. *Кокорин, А. О.* Оценка влияния потепления климата и роста потока фотосинтетически активной радиации на бореальные леса / А. О. Кокорин, И. М. Назаров // *Метеорология и гидрология*. – 1994. – № 5. – С. 44-54.
11. *Бердников, С. В.* Пространственно распределенная модель биосферы / С. В. Бердников, Д. А. Саранча, Н. В. Белотелов // *Проблема экологического мониторинга и моделирования экосистем*. Т. 5. – Л.: Гидрометеиздат, – 1982. – С. 199-219.
12. *Кобак, К. И.* Анализ многолетних метеорологических наблюдений в Северо-Западном регионе России / К. И. Кобак, Н. Ю. Кондрашова, К. М. Лугина и др. // *Метеорология и гидрология*. – 1999. – № 1. – С. 30-38.
13. *Груза, Г. В.* Об изменениях температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России в XX веке / Г. В. Груза, М. Ю. Бардин, Э. Я. Ранькова и др. // *Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы изменений*. – М.: Наука. – 2001. – С. 18-39.
14. *Мирвис, В. М.* Закономерности изменения режима температуры воздуха на территории России в последнее столетие / В. М. Мирвис // *Изменения климата и их последствий*. – СПб.: Наука, 2002. – С. 105-116.
15. *Демаков, Ю. П.* Климат заповедника и характер изменчивости основных метеорологических показателей / Ю. П. Демаков // *Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага»*. Вып. 1. – Йошкар-Ола, 2005. – С. 125-150.
16. *Демаков, Ю. П.* Возрастная структура и особенности динамики радиального прироста приозерных сосняков сфагновых заповедника «Большая Кокшага» / Ю. П. Демаков, А. В. Полевщиков. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1997. – 31 с. Деп. в ВИНТИ 28.02.97, № 635-B97.
17. *Демаков, Ю. П.* Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты) / Ю. П. Демаков. – Йошкар-Ола: «Периодика Марий Эл», 2000. – 415 с.
18. *Демаков, Ю. П.* Влияние сосновой вершинной смолевки на динамику отпада в сосновых насаждениях / Ю. П. Демаков // *Лесоведение*. – 1994. – № 4. – С. 54-60.
19. *Демаков, Ю. П.* Сосновая вершинная смолевка в лесах Республики Марий Эл / Ю. П. Демаков // *Лесное хозяйство*. 1996. – № 2. – С. 47-49.
20. *Демаков, Ю. П.* Сосновая вершинная смолевка: биология, экология и роль в лесных экосистемах Марийского Полесья / Ю. П. Демаков // *Науч. труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага»*. Вып. 3. Йошкар-Ола, 2008. – С. 274-344.

21. Kohh, E. Viimasest latipihklase rüütest Eestis / E. Kohh // Metsanduslikud Uurimused. I. – Tartu, 1939. – Lk. 67-110.
22. Luik, A. Damage and biology of *Pissodes piniphilus* in Estonia / A. Luik // 19 Int. Congr. Entomol. Beijing, June 28 – July 4, 1992: Proc. Abstr. – Beijing, 1992. P. 444.
23. Riis, A. Latipihklasest Eesti NSV-s / A. Riis // Metsanduslikud Uurimused. XII. – Tallinn: Valgus, 1975. – Lk. 294-314.
24. Демаков, Ю. П. Влияние экстремальных погодных условий и колебаний уровня грунтовых вод на состояние сфагновых сосняков Республики Марий Эл / Ю. П. Демаков // Рубки и восстановление леса в Среднем Поволжье: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИЛМ, 1992. – С. 15-30.
25. Демаков, Ю. П. Влияние погодных аномалий 1978 и 1980 годов на состояние древостоя в сосняках сфагновых / Ю. П. Демаков // Науч. тр. государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 1. – Йошкар-Ола, 2005. – С. 151-167.
26. Шевырев, И. Я. Опустошительное размножение короедов в Средней России с 1882 по 1894 гг. и попытки борьбы с ними / И. Я. Шевырев // Сельское хозяйство и лесоводство. – 1896. – Т. 183. – № 10. – С. 523-545.
27. Маслов, А. Д. Усыхание еловых лесов от засух на европейской территории СССР / А. Д. Маслов // Лесоведение. – 1972. – № 6. – С. 77-87.
28. Кнize, А. А. Динамика продуктивности таежных и подтаежных лесов европейской части России за длительный период / А. А. Кнize, Б. Д. Романюк, В. Н. Федорчук // Труды СПбНИИЛХ. Вып. 1 (2). – СПб., 2000. – С. 161-169.
29. Алексеев, В. А. Статистические данные о лесном фонде и изменение продуктивности лесов России во второй половине XX века / В. А. Алексеев, М. В. Марков. – СПб., 2003. – 272 с.
30. Mund, M. Growth and carbon stocks of a spruce forest chronosequence in central Europe / M. Mund, E. Kummert, M. Hein et al. // Forest Ecology and Management. – 2002. – N 171. – P. 275-296.
31. Myneni, R. B. Increased plant growth in the northern latitudes from 1981 to 1991 / R. B. Myneni, C. J. Keeling, G. Tucker et al. // Nature. – 1997. – N 386. – P. 698-702.
32. Spiecker, H. Growth trends European Forest / H. Spiecker, K. Mielikainen, M. Kohl, J.P. Skovsgaard. – Berlin: Springer Verlag, 1996. – 372 pp.

Статья поступила в редакцию 24.02.09.

Yr. P. Demakov, M. G. Saphin, A. E. Smykov

CLIMATE CHANGE AND FOREST CONDITION IN MARI EL IN THE PREVIOUS CENTURY

There had been done the analysis of long-term data on dynamics of atmospheric factors, radial annual growth of trees and forest stand productivity. It is proved that during the last half of the century the middle-aged and maturing forest stand productivity of dominant species in Mari El has increased considerably, though it happened not only due to climate change. Estimation of climate change influence on state and forest productivity is closely linked to many methodical difficulties.

Key words: *climate change, forest productivity, xylem bugs, forest stands.*

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты МарГТУ. Научные интересы – устойчивое управление лесами, биогеоценология, лесная энтомология. Автор более 190 публикаций. E-mail: bioecos@marstu.net

САФИН Масхут Гумарович – аспирант МарГТУ, директор государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Научные интересы – охрана природы, экология. Автор семи публикаций. E-mail: mailto:buh2@newmail.ru

СМЫКОВ Андрей Евгеньевич – кандидат сельскохозяйственных наук, инженер первой категории Марийской лесоустроительной экспедиции «Центрлеспроект» филиала ФГУП «Рослесинфорг». Научные интересы – лесная таксация и лесостроительство. Автор 13 научных работ. E-mail: smykov-andrej@yandex.ru

PLANNING OF TARGET FOREST TYPES UNDER CLIMATE CHANGE

As a consequence of the forecast global climate change and the resulting shift of site types, the optimal mixture of tree species and the planning of target forest types is of increasing importance. The procedure yields a stand-level optimisation of tree species mixture allowing for manifold restrictions which can be formulated at the level of stands, site type clusters or growth districts, as well as for protected areas or entire enterprise.

Key words: *global climate change, stand-level optimization, target forests, tree growth simulation.*

Overall view of the method. The production of goods in forestry is characterised by extraordinary long production periods. A convenient selection of the tree species can guarantee the essential safety in the production. To find an optimal solution for the choice of tree species is considered as a major target of systematic forestry. At the moment, forestry is confronted with several changes, on the one hand in regard to environment, and on the other hand to social and ecological demands. As a reaction of the prognosis concerning climate change and the resulting rejection of the assumption of stands offering constant conditions, a prudent choice of the tree species is of particular importance. To assess the influence of climate change this study focuses on the scenario A1B of the International Panel on Climate Change (IPCC). Comparing the years 1980/1999 to the period 2090/2099, the annual average temperatures are supposed to increase by 1.8 degrees. This scenario can be considered as a moderate one, in which forestry can adapt to with the help of forest conversion [1 - 3]. Moreover, the aim of an adapted choice of the tree species is not only to avoid risk, but also to take the firms' profit situation in account.

Hence, the planning of target forest types for a forest enterprise helps in reaching a decision of the long-term targets concerning the forest stand. The purpose is to reveal specific types of tree species for each stand, which are the optimum in terms of site and climate adaptability and economical profitability. The target forest is derived by means of an optimisation approach, which mathematically formulates an extremum problem and takes few of other side conditions into account.

The input parameters of the model are site information, tree suitability and the results of growth simulations and their resulting contributions to the profit. A number of individual sites, which provide comparable growth conditions for trees, are fitted together, to so-called 'site clusters'. The tree species suitability for each site cluster was rated in a tree species suitability table according to Aldinger & Michiels [4].

Restrictions on several levels can be taken into consideration for the optimisation of forest management. Strategic targets such as a certain percentage of broadleaves can be taken into account on the level of the whole forest enterprise. Restrictions resulting from protection areas or valuable forest biotopes can be included for certain areas of the enterprise. Thus, target forest planning is an iterative process considering the conditions of the stand, the suitability of the tree species and the estimated profit for the tree species, to achieve a stable future stocking with maximized profit.

Course of the method. The planning of target forest types, as a sustainable element of a long-term regulation of forest development, is oriented on the site that is taken into consideration using the site cluster.

This study focuses on the forest district Eberswalde that covers an area of 40,185 hectares. Certain site information has been categorized by means of the soil type and can be assessed via a detailed data base.

All in all, a number of 450 soil types was taken into account. Combining those with seven several

growth districts and three climate levels, respectively, (Tm [medium dry], Tt [dry] and Ttt [very dry] was added later on) leads to around 1,000 different site type areas. Assigning these circa 1,000 variations to ten defined fertility levels (poor to fertile) and 15 defined humidity levels (T..5 “very dry” to O..1 “very swampy”) results in 85 site clusters with areas of 0.05 hectares up to more than 5,000 hectares. Only 35 main clusters contain an area of above 100 hectares.

The so-called ‘site cluster’ composes different site types providing comparable silvicultural possibilities, risks and growth expectations as well as similar natural vegetation types. With the aid of the site cluster, the evaluation of the ecological and economical potential of the forest enterprise is feasible [5].

Tree species suitability table. To ensure the choice of tree species being adapted to the site, the tree species are evaluated in regard to their suitability. Such an evaluation was performed for each site cluster focusing on the criteria of competitiveness, soil conservation, safety, capacity as well as climate change sensitivity according to a modified and amplified approach by Aldinger and Michiels [4].

The evaluation was done on a scale of 0 to 3, with one being below average and three being above the average in respect of the criteria (figure 2). At zero no evaluation was possible. The evaluation is entered in a tree species suitability table, which is supplemented by an overall assessment on a scale of “unsuitable”, “sparsely suitable” and “possible and suitable”. Finally, a ranking is added at the site cluster which characterises the tree species as main or secondary ones and gives a maximum proportion for each species.

Optimisation of the target forest type. To obtain an ideal achievement of targets and constraints on both, the level of the single stand, and for the whole forest enterprise, the model utilises a linear optimisation approach. Linear optimisation is an iterative process, which can be described as a systematic trial of several combinations, identifying the most favourable one [6].

The aim of the present optimisation approach is also to display the financial consequences of the choice of tree species. This is assured with the help of an objective function, which formulates an extremum problem based on the expected

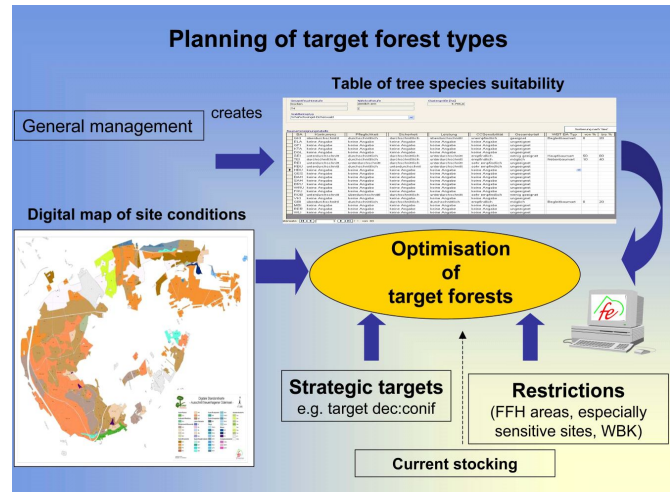


Fig. 1. Elements of the planning of target forest types

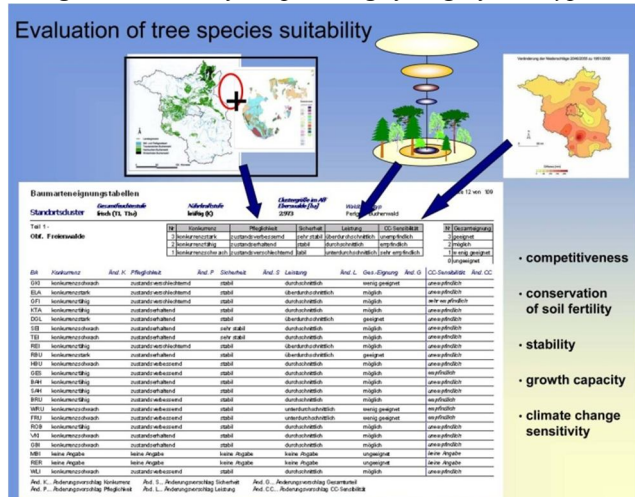


Fig. 2. Evaluation criteria and tree species suitability table

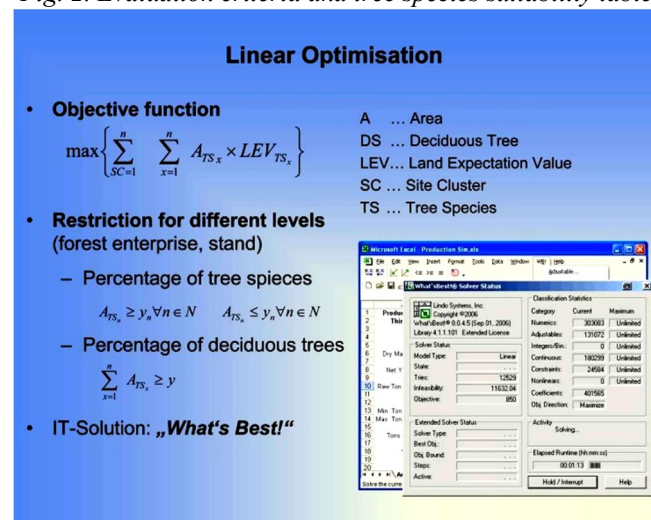


Fig. 3. Structure of the linear optimisation approach

periodic incoming payment and payout of the specific tree species combination. The land expectation value is maximised. Especially, attention is paid to the defined restrictions. As described above, those

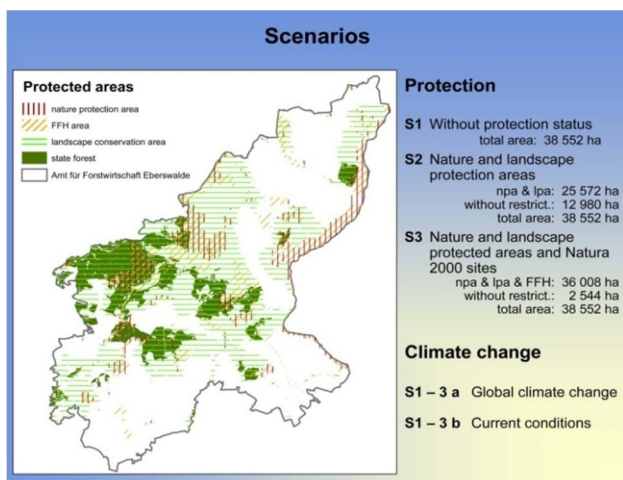


Fig. 4. Studying of the scenarios

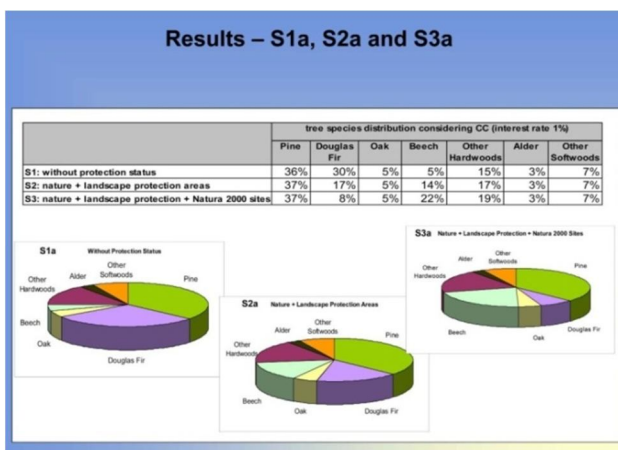


Fig. 5. Tree species distribution based on several scenarios

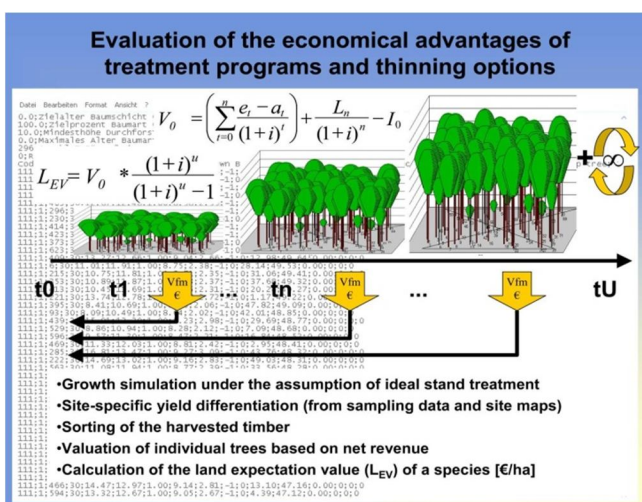


Fig. 6. Method of simulation and monetary evaluation

can be effective on the level of the whole enterprise or for certain parts of it, but the restrictions may also be formulated for single stands. The monetary evaluation of the tree species is based on ideal types of growth development according to the growth simulator BWIN.

Each intervention in the development is monetarily evaluated according to its point in time and with various input interest rates. Thus, it is possible to calculate a capitalised value for each tree species (figure 3).

Results of the target forest planning are: a stand-specific tree species recommendation, detailed data about future tree species distribution on the area of the forest enterprise and the expected benefits.

Scenarios and results. To formulate a scientifically sound target forest planning for the forest district Eberswalde, various scenarios have been formulated. Those can be seen in figure 4.

Especially, numerous protection areas are a characteristic feature of the landscape mentioned above. Hence, the scenarios are paying attention to them to a different intensity. Restrictions were generally formulated according to the relevant prescriptions. All scenarios were calculated for the two alternatives (a) and (b), whereby alternative (a) represents the site conditions under the influence of climate change (S1a to S3a) and alternative (b) depicts the present site conditions (S1b to S3b).

Figure 5 demonstrates the changing tree species distribution resulting from the different scenarios. Obviously the share of the Douglas fir is strongly dependent on the amount of protection areas taken into consideration.

Subsequently figure 6 reflects the monetary results of the various scenarios. In contrast to the present stocking, which has a calculated land expectation value of -1,041 €/ha, the optimised stocking has a positive land expectation value of 2,289 €/ha, although all kinds of protection areas are taken into account. Both figures are based on the consideration of an input interest rate of 1 per cent.

Scenario S1 reflects a situation without

any restrictions due to protection areas. Compared to the prior described scenarios and results a stocking with a land expectation value of 9,821 €/ha could be established hereby. Thus, considerably high costs become obvious regarding the protection areas.

Results - Land Expectation Value				
Interest rate	LEV[€/ha]			
	considering CC			without CC
	1%	2%	3%	1%
S1 - without protection status	9.821	-856	2.493	11.947
S2 - nature + landscape protection areas	6.925	-1.569	2.824	7.938
S3 - nature + landscape protection+Natura 2000 sites	2.289	-2.071	-2.709	5.191
S4 - current stocking	-1.041	-3.416	-3.514	-1.041
Input administrativ costs 125 €/ha/a				

Fig. 7. Result regarding the land expectation value

between alternative a (considering climate change) and alternative b (without climate change) in scenario 3 is only 2,902 €/ha. However, the influence of protection areas as a consequence of political decisions is much more important.

References

1. Gerstengarbe F. W. Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven / Gerstengarbe F. W.; Badeck, F.; Hattermann, F.; Krysanova V.; Lahmer W.; Lasch P.; Stock, M.; Suckow, F.; Wechsung F.; Werner, P. C. – 2003. Online: <http://www.pik-potsdam.de/research/pikreports/summary-report-no-83?set language=en>.
2. Zebisch M. Klimawandel in Deutschland. / Zebisch, M.; Grothmann, T.; Schröter, D.; Haße, C.; Fritsch, U.; Cramer, W.; Umweltbundesamt (UBA), Hg.: Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme; (Förderkennzeichen: 201 41 253). – 2005. Online: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-k/k2947.pdf>.
3. Umweltbundesamt (UBA) (2007): Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen, Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG. Online: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-infopresse/hintergrund/Regionale-Klimaaenderungen.pdf>.
4. Aldinger, E. Baumarteneignung in der forstlichen Standortskartierung Baden-Württemberg / E. Aldinger, H. G. Michiels. //AFZ-DerWald. – 1997. – Jg. 52. – S. 234–238.
5. Hertel, C. Planning of Target forest types at the example of the forest district Eberswalde – a study focusing on the correct choice of tree species conditional upon the influence of uncertainties concerning climate change. Diplomarbeit TU Dresden, 2009. – 118 S.
6. Gehring, H. Operations Research, Simulation. Fernuniversität Hagen Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, 60 Seiten. – 1997.

Статья поступила в редакцию 06.05.09.

A. B. Биттер, С. Хертель

ПЛАНИРОВАНИЕ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Вследствие прогнозируемого глобального изменения климата и в результате смены условий местопроизрастания становится актуальной оптимизация смешанного состава и планирование целевых лесонасаждений. Процесс планирования выражается в оптимизации состава смешанных насаждений, допускающего различные ограничения на уровне насаждений, условий произрастания, категорий защитности, предприятия в целом.

Ключевые слова: глобальное изменение климата, оптимизация уровней древостоев, целевые леса, моделирование древесного прироста.

БИТТЕР Андреас – профессор, Дрезденский технический университет. Научные интересы – лесная экология. Автор 38 публикаций. E-mail: abitter@rcs.urz.tu-dresden.de.

ХЕРТЕЛЬ С. – магистр лесного дела, Дрезденский технический университет. Научные интересы – лесная экология. Автор трех публикаций. E-mail: chertel@rcs.urz.tu-dresden.de.

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630.587:621.311

И. И. Тюхов

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО БУДУЩЕГО

Рассматриваются вопросы устойчивого развития энергетики на базе возобновляемых источников энергии. Показана необходимость перехода к новым технологиям возобновляемой энергетики. Обсуждаются примеры конкретных технологий: использования биомассы и комбинированного преобразования солнечной энергии для одновременной генерации электрической энергии и тепла.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, биомасса, солнечные коллекторы.

Введение. Проблемы развития возобновляемой энергетики (ВЭ) и совершенствования работы лесного хозяйства во многом аналогичны. В условиях, когда масштабы антропогенного воздействия на окружающую среду достигли таких размеров, что под угрозу поставлена жизнь на планете, охрана окружающей среды и рациональное природопользование выходят на передний план. Устойчивое развитие ВЭ и лесного хозяйства являются важнейшими национальными и межгосударственными задачами, успешное решение которых неразрывно связано с обеспечением высокого уровня профессиональной подготовки специалистов в данной области.

Новый этап природопользования требует новых методов применения высоких технологий, современной высокоавтоматизированной и экологичной техники, организационных схем и ресурсосберегающих технологий и использование возобновляемых ресурсов.

Цель работы – рассмотреть возможные пути устойчивого развития энергетики, переход на возобновляемые ресурсы, анализ и разработка конкретных технологий.

Необходимость к переходу на устойчивые технологии. Традиционная энергетика, включая атомную, базируется на ископаемых источниках энергии. К сожалению, многими экономистами игнорируется тот факт, что нефть является не возобновляемым ресурсом. Инвесторам уже сейчас становится понятно, что без значительного сокращения объемов потребления нефти в ближайшие годы (называют сроки в 5–10 лет) мировой уровень добычи достигнет своего максимума.

К чрезвычайно важному заключению – достижению абсолютного максимума потребления, впервые пришел М. Кинг Хабберт (Dr. M. King Hubbert), геолог, который спрогнозировал величину объемов нефтедобычи, используя исторические данные и оценки доказанных запасов. Еще в 1956 году, основываясь на геологических изысканиях, Хабберт показал, что уровень добычи в США достигнет своего максимума в 1970 году [1]. Фактически ему удалось предсказать первый энергетический кризис (Хабберт ошибся лишь на 4 года – в 1974 г. появились признаки снижения добычи нефти и последующий рост цен). Более того, он спрогнозировал, что мировой уровень объемов нефтедобычи достигнет максимума примерно к 2000 году (рис. 1). Разумное использование ископаемых ресурсов подразумевает, что при фиксированной структуре производства и потребления ресурсная рента направляется не в финансовый фонд, а на развитие технологий, использующих возобновляемые ресурсы, и, тем самым, замещающих в производстве исчезающий ресурс [2]. Переход к возобновляемой энергетике переводит энергетику в

класс возобновляемых ресурсов. Такой подход давно используется в лесном хозяйстве, где определенная часть доходов от ведения лесного хозяйства расходуется на поддержку лесопитомников.

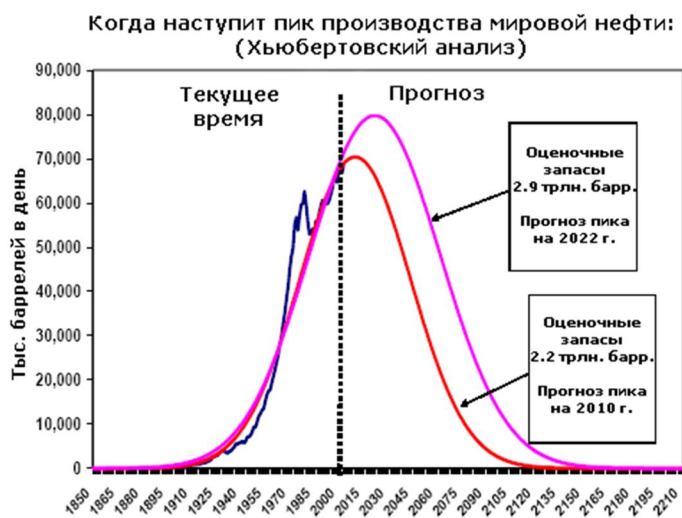


Рис. 1. Прогноз Хабберта по мировым данным

шие значения целевых показателей объема производства и потребления электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии (кроме гидроэлектростанций установленной мощностью более 25 МВт): в 2010 году – 1,5 %; в 2015 году – 2,5 %; в 2020 году – 4,5 %.

Выбор перспективных технологий ВЭ. Основными технологиями ВЭ для России могут стать комбинированные системы, работающие на различных первичных источниках: энергии биомассы, солнца, ветра и энергии малых водотоков. Особенно много новых подходов разрабатывается в использовании энергии биомассы и солнца. Рассмотрим некоторые примеры использования этих ресурсов.

Большое значение для автономного энергоснабжения имеет технология переработки биомассы, растительных и древесных отходов, торфа в жидкое топливо и газ посредством быстрого пиролиза. По данным академика РАСХН Стребкова Д. С., в России самые большие лесные ресурсы (21% мировых лесных площадей) и около 30 млн. га необрабатываемых земельных угодий, которые можно использовать под посадки быстрорастущей растительной массы, и с этих площадей получать при переработке 150–200 млн. тонн жидкого топлива.

Энергетические установки, использующие биомассу, могут дать столько же энергии, сколько все атомные электростанции России, и они имеют почти нулевые выбросы диоксида углерода и серы, т.е. являются экологически чистыми. Получение и использование этого биодизельного топлива на селе позволит пополнить энергобаланс сельских предприятий и регионов и в значительной мере снизить зависимость от централизованных закупок ископаемого топлива и электроэнергии [3]. Пример установки, разработанной в ВИЭСХ приводится на рис.2. Высокими темпами во всем мире развиваются солнечно-энергетические технологии. Согласно прогнозам, к 2020 году около 50 000 МВт (50 ГВт) фотоэлектрических систем будет устанавливаться ежегодно, т.е. в двадцать раз больше по сравнению с установленной мощностью 2538 МВт в 2007 году. К 2010 году около 400 производственных линий в мире, производящих, по меньшей мере, 1 МВт солнечных элементов в год, будет установлено вместо примерно ста линий в 2007 году, т.е. примерно в четыре раза больше, чем сейчас (<http://www.nanowerk.com/news/newsid=8294.php>).

Несмотря на зрелость и высокое совершенство фотоэлектрических технологий «в чистом виде», т.е. только технологий генерации электричества, а также фантастические темпы роста фотоэлектрической промышленности – около 30–40% в год, продолжается поиск новых технических решений, связанных с фотоэлектрическим преобразованием солнечной энергии.

Так, использование древесных отходов для получения топлива придает лесозаготовительному производству безотходный характер и повышает эффективность мер по охране природы. Вовлечение в топливный баланс лесопромышленных предприятий древесных отходов — эффективное мероприятие по сбережению для будущих поколений горючих ископаемых.

В январе 2009 года правительство РФ приняло программу развития альтернативной энергетики, которая предполагает увеличение ее доли в энергобалансе страны. Согласно распоряжению, на период до 2020 года устанавливаются следующие значения целевых показателей объема производства и потребления электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии (кроме гидроэлектростанций установленной мощностью более 25 МВт): в 2010 году – 1,5 %; в 2015 году – 2,5 %; в 2020 году – 4,5 %.



Рис. 2. Общий вид установки для получения жидкого и газообразного топлива (слева), производительность 0,5 т/сутки и дизель-генератор (справа) электрической мощностью 20 кВт



Рис. 3. Дом лесника со встроенными на крыше фотоэлектрическими модулями (США)

Фотоэлектрическое преобразование (ФЭ) солнечной энергии в электрическую существует около полувека, причем сначала были разработаны технологии для космических применений, а затем удалось существенно снизить стоимость фотоэлектрических технологий до приемлемых уровней для использования в наземных установках. В качестве примера использования такой энергии на рис. 3 показан дом лесника (США). Такие фотоэлектрические модули обеспечили около 7900 кВт час электроэнергии за 2005 г.

Рынок солнечных тепловых систем также развивается поразительными темпами. Только европейский рынок солнечных тепловых систем вырос в 2006 г. на 47%, превысив все ожидания и достигнув установленной мощности 2,1 ГВт тепловой мощности (3 миллиона квадратных метров солнечных коллекторов). Солнечные коллекторы могут применяться практически во всех процессах, использующих тепло. Коллекторы могут быть жидкостного или воздушного типа в зависимости от вида циркулирующего через них теплоносителя.

Тепловое преобразование (Т) солнечной энергии известно и используется человеком с давних времен, хотя научные методы использования солнечной энергии стали разрабатываться относи-

тельно недавно. В 1741 году М. В. Ломоносов предложил многолинзовую солнечную печь (катоприко-диоптрический зажигательный инструмент), а французский физик Пулье в 1837 году создал прибор для определения энергии приходящего солнечного излучения.

Новый подход связан с комбинированным преобразованием солнечной энергии. Фотоэлектрическое и тепловое преобразование солнечной энергии (ФЭТ) осуществляется в единой интегрированной системе, в которой одновременно используются и фотоэлектрическая генерация электричества, и получение тепла от солнечной энергии. Разработанная в течение последних нескольких десятилетий теория фотоэлектрического эффекта в полупроводниках с р-п-переходом позволяет в первом приближении описать характеристики солнечных элементов (СЭ), объяснить реально получаемые значения КПД и указать пути их повышения.

В классической теории вольтамперная характеристика (ВАХ) СЭ, то есть зависимость напряжения U на выводах от тока J в цепи, описывается выражением:

$$U = \frac{AkT}{q} \cdot \ln \left[\frac{J_{\phi} - J}{J_o} + 1 \right] - J \cdot R \quad (1)$$

где J – плотность выходного тока фотопреобразователя, А/см²;

J_{ϕ} – плотность фототока, пропорциональная интенсивности солнечного излучения, падающего на поверхность фотопреобразователя, А/см²;

J_o – плотность обратного тока насыщения, определяемая свойствами исходного полупроводника и технологией изготовления фотопреобразователя, А/см²;

R – внутреннее электрическое сопротивление, препятствующее протеканию тока в структуре фотопреобразователя и через омические контакты, Ом;

A – параметр кривизны ВАХ, о.е. Безразмерный параметр кривизны ВАХ A определяется свойствами р-п-перехода и обычно имеет значения от 1 (для идеального р-п-перехода) до 3;

k – постоянная Больцмана, $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К ;

T – рабочая температура фотопреобразователя, К;

Q – заряд электрона, $q = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Выражение для ВАХ (1) зависит от температуры не только явно, но и через величины J_ϕ и J_o .

Максимальная мощность СЭ определяется по параметрам ВАХ следующим образом:

$$P_{el} = U_{xx} \cdot J_\phi \cdot \zeta \quad (2)$$

где U_{xx} – напряжение холостого хода, В;

ζ – коэффициент заполнения вольтамперной характеристики.

Напряжение холостого хода СЭ также является функцией от температуры и определяется следующим образом:

$$U_{xx} = \frac{AkT}{q} \cdot \ln \left(\frac{J_\phi}{J_o} + 1 \right) \quad (3)$$

При малых концентрациях солнечного излучения можно считать, что величина U_{xx} изменяется практически линейно с увеличением температуры.

$$\zeta = 1 - \frac{\left[\ln \left(\frac{qU_{xx}}{AkT} \right) + 1 \right]}{\frac{qU_{xx}}{AkT}} \quad (4)$$

Изменение формы ВАХ при повышении температуры СЭ видно на рис. 4.

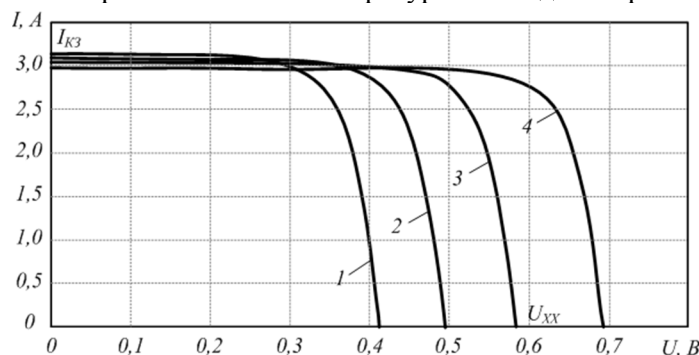


Рис. 4. Влияние рабочей температуры СЭ на форму вольтамперной характеристики (1 – ВАХ при температуре 75 °С, 2 – при 50 °С, 3 – при 25 °С, 4 – при 0 °С)

Коэффициент полезного действия СЭ определяется как отношение максимальной электрической мощности, снимаемой с единицы площади СЭ, к интенсивности падающего солнечного излучения E_c :

$$\eta = \frac{P_{el}}{E_c} \quad (5)$$

С учетом выражений (2, 3, 5) выражение для КПД можно записать следующим образом:

$$\eta = \frac{U_{xx} \cdot J_\phi \cdot \zeta}{E_c} = \frac{AkT}{q} \cdot \frac{J_\phi}{E_c} \cdot \zeta \cdot \ln \left(\frac{J_\phi}{J_o} \right) \quad (6)$$

Из выражений следует, что величина η падает с ростом температуры СЭ приблизительно на 0,3% на градус. Тем самым, охлаждая СЭ, можно повысить КПД фотоэлектрического преобразования, но более существенный эффект можно получить, если использовать отводимое от СЭ тепло. Для типичных значений КПД СЭ составляет около 15%, остальная (большая) часть

угол и к ней дорисовывалась окружность. Полученный профиль переносился на фанерные листы толщиной около 10 мм и вырезался ленточной пилой. Четыре вырезанных фанерных профиля соединялись с помощью алюминиевых направляющих, формируя каркас отражателя, на который затем крепился тонкий металлический лист, служащий подложкой для отражающей пленки (рис. 7). Металлизированная пленка, например, производства компании 3М (представительство есть в России), наклеивалась на подложку как обычная клеящая пленка типа «скотч».

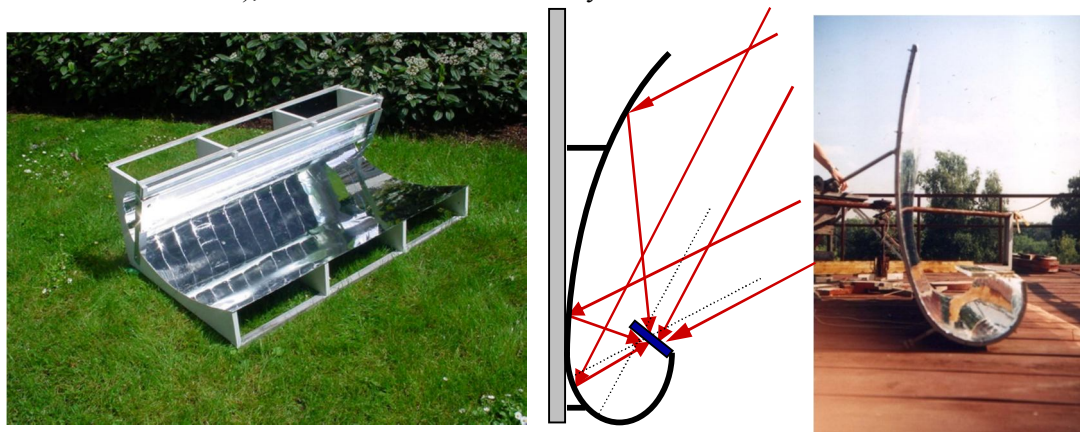


Рис. 7. Горизонтальное и вертикальное исполнение солнечного концентратора

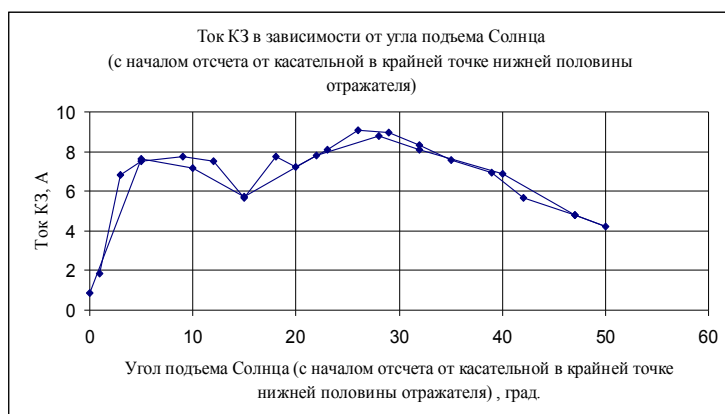


Рис. 8. Угловые характеристики (зависимости токов короткого замыкания от угла подъема Солнца и азимутального угла)

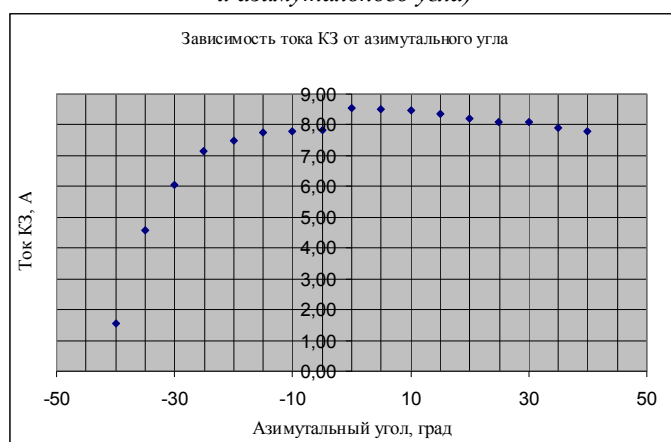


Рис. 9. Угловые характеристики

В качестве примера на рис. 8 и 9 приводятся две основные угловые характеристики (зависимости токов короткого замыкания от угла подъема Солнца и азимутального угла).

Провал в характеристике на рис. 8 объясняется тем, что размер стеклопакета для проверки различных вариантов охлаждения был несколько больше, чем размер ДСЭ и при переходе с лицевой поверхности приемника на тыльную. Световое пятно на краю приемника частично проходило через стеклопакет, не попадая на ДСЭ. Этого снижения можно избежать плотным размещением цепочки скоммутированных СЭ. Асимметричность характеристики на рис. 9 объясняется тем, что правая и левая ветви были измерены в разных условиях (с большим временным интервалом между измерениями и при не симметричных условиях освещения с боковых сторон – вблизи стены здания).

Воздушное охлаждение оказалось простым и эффективным (поток воздуха подводился от воз-

душной магистрали). Водяное охлаждение требовало более тщательной герметизации, но важнее с точки зрения использования в практических системах для предварительного подогрева

воды. Система показала хорошую работоспособность с обоими типами охлаждения, является простой в изготовлении, не требующей специального оборудования (ДСЭ поставляются фирмами-изготовителями). Все работы могут выполняться в обычных механических мастерских.

Выводы. Для устойчивого развития энергетики необходимо переходить на возобновляемые технологии, такие как использование энергии биомассы, использование солнечной энергии. Комбинированное фотоэлектрическое и тепловое преобразование солнечной энергии (ФЭТ), которое осуществляется в единой интегрированной системе, является перспективным направлением использования солнечной энергии.

Важным результатом описанного ФЭТ подхода является повышение суммарного выхода солнечно-энергетических систем, и, соответственно, их КПД, включая когенерацию электричества и тепла при одновременном снижении требуемой площади. В случае необходимости в ФЭТ солнечно-энергетических системах с концентраторами в соответствии с приоритетами потребителей может быть предусмотрена генерация электричества, тепла и холода – тригенерация. Генерацию холода целесообразно осуществлять в жарких районах, когда пики жаркой погоды совпадают с увеличением потребностей в холоде.

Список литературы

1. Hubbert, M. K. Nuclear Energy and the Fossil Fuels / M. K. Hubbert // Amer. Petrol. Inst. Drilling & Production Practice. Proc. Spring Meeting, San Antonio, Texas, 1956. – P. 7-25.
2. Бажанов А. В. Энергетическая стратегия России и развитие возобновляемой энергетики / А. В. Бажанов, И. И. Тюхов // Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве: Труды 6-й Международной научно-техн. конф. Часть 4. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология, 13-14 мая 2008 г. – М., 2008. – С. 3-8.
3. Стребков, Д. С. Физико-химические особенности пиролиза биомассы / Д. С. Стребков, А. С. Холманский, Е. Ю. Сорокина и др. // Исследовано в России. Электронный математический и медико-биологический журнал. – 2008. – Т. 7. – Вып. 3.
4. Тюхов, И. И. Солнечный модуль с концентратором: пат. 2 252 371 Рос. Федерация: МПК F 24 02/14, 2/34 / И. И. Тюхов, Б. И. Содномов, Д. С. Стребков; заявитель и патентообладатель ГНУ ВИЭСХ; заявл. 09.07.2003; опубл. 20.05.2005; Бюл. №14.

Статья поступила в редакцию 11.05.09.

I. I. Tyukhov

RENEWABLE ENERGY AND FORESTRY FOR SUSTAINABLE FUTURE

The issues of sustainable development of power engineering on the bases of renewable sources of energy are considered. The needs of transition to the new renewable energy technologies are shown. The concrete technologies of conversion biomass and photoelectric-thermal conversion of solar energy for simultaneous generation electricity and heat are discussed.

Key words: renewable energy, biomass, sun collectors.

ТЮХОВ Игорь Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры ЮНЕСКО и «Возобновляемая энергетика и электрификация сельского хозяйства» Всероссийского института электрификации сельского хозяйства (Москва). Научные интересы – солнечная энергетика, экологические проблемы энергетики, возобновляемые источники энергии, полупроводниковая оптоэлектроника. Автор более 200 публикаций. E-mail: ityukhov@yahoo.com.

UDC 630*3

L. D. Zahvoyska

SCIENTIFIC ATELIERS: A TRANSDISCIPLINARY PARADIGM OF INTEGRATING RESEARCH AND TEACHING ON ECO-INNOVATIONS

It is widely acknowledged that transformation of a society towards a sustainable pattern demands an effective collaboration of all stakeholders and intensive knowledge exchange within a well-known triangle academia-business-society. Skills and competences for dealing with highly complex and ill-defined problems have to be developed in order to effectively cope with sustainability challenge. Atelier as a specific form of transdisciplinary case studies occupies a fitting place in this variety of educational eco-innovations aimed at sustainability learning. Atelier paradigm, ontology, methodology and management are examined.

Key words: eco-innovations, sustainable development, scientific ateliers, multidisciplinary study, ecological economics.

Introduction. Radical shift in civilization development paradigm, caused by threatened state of the enveloping and sustaining global ecosystem [1] served as a motive to rethink nature and quality of human development in general and economic growth in particular. Aroused paradigm of sustainable development challenged humanity and forces it to reconcile conflicts between environment, society and economy. But the first of all it challenged modern science, dominate scientific picture of the world designed under the strong impact of the reductionist approach.

The fact that the mechanistic worldview predetermined the first scientific picture of the real world resulted in considering a motion as a movement but not as a change, and therefore things were treated as unchangeable. Unchangeable physical bodies (sometimes called objects) without history and possibility to develop, their behavior when they are subjected to forces or displacements, outlined scope of the science substantiated classical scientific paradigm.

Standing in contrast to Descarte's scientific reductionalism synergetics [2–3], an interdisciplinary science explaining the formation and self-organization of patterns and structures in open systems far from thermodynamic equilibrium, proves that such world-view is only a part of the whole true about the real world. Ludwig von Bertalanffy's general systems theory (1936) [4] embraced by synergetics, created an interdisciplinary framework demanded by post normal science [5–6].

Non-linearity, self-organization and evolutionism feature ecological-economic systems. Urgency in decision-making, uncertainty of facts, impossibility for experimentation because of sample size of one requires new interdisciplinary instruments for tackling aroused challenges [1].

The shift in scientific paradigms supposes a formation of relevant innovative educational models, which combine different sciences concepts and frameworks as well as academic and traditional knowledge. To fill this gap in education for sustainable development a transdisciplinary case study (TCS) model was designed to facilitate knowledge exchange between science, policy and everyday practice in a straightforward and comprehensive way.

The paper is aimed to examine the paradigm of scientific atelier as a transdisciplinary approach to education for sustainability.

Scientific ateliers as an example of transdisciplinary case study. *Transdisciplinarity* can be defined as an integration of values and knowledge from society into the production of scientific knowledge [7]. In contrast to multidisciplinary and interdisciplinarity, it does not limit itself to linking different scientific paradigms, but in addition to the integration of stakeholder and expert knowledge and values, the problem determines the appropriate tools and methods, not the discipline [8].

Note that multidisciplinary study involves researchers from different disciplines to investigate a

© Zahvoyska L. D., 2009.

problem from these disciplines perspectives and provide several non-integrated findings developed using different methods and concepts, which contribute to and cover all the breadth of the problem under consideration (fig. 1).

However interdisciplinarity assumes integration of scientific perspectives, concepts and tools to obtain a single coherent understanding of the problem. Participatory approach brings together different stakeholders, like academia, business, local population etc. Peculiarities of recent forms of knowledge production are presented in Table 1.

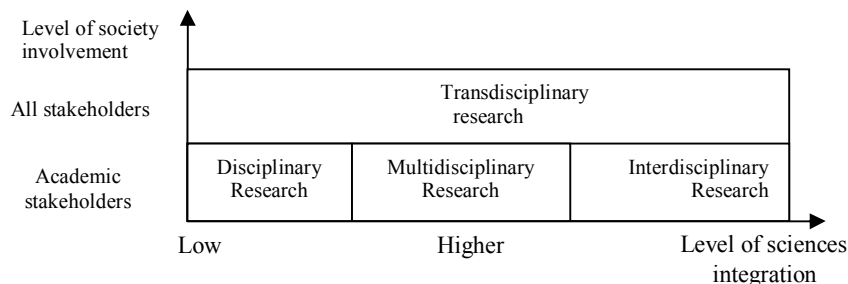


Fig. 1. Transdisciplinary research in relation to other forms of knowledge production

One of the first transdisciplinary case studies (TCS) in Europe was undertaken at the Institute of Human-Environment Systems Natural and Social Sciences Interface at the Swiss Federal Institute of Technology in ETH Zurich in 1994 (Eidgenössische Technische Hochschule). Nowadays European universities arrange a lot of transdisciplinary case studies. Gained experience of innovative teaching was discussed at a symposium on “Transdisciplinary Case Study Research for Sustainable Development” (Helsinki, June, 2005) and is highlighted in the International Journal of Sustainability in Higher Education (2006) [7]. Applying transdisciplinary case studies as a mean of organizing sustainability learning becomes an effective and popular form of mutual learning by doing and it allows academia to implement developed findings in real world conditions.

In the United States, the Gund Institute for Ecological Economics (GIEE) has pioneered the scientific atelier, a self-designing, collaborative process for solving real world problems. Ateliers are designed to integrate insights across disciplines and institutions, as well as research, learning, and service. This approach brings students and faculty from several disciplines together with a broad cross-section of stakeholders in problem-focused, adaptive, workshop settings, frequently in countries that are less developed or undergoing transition to a market economy. The ateliers focus on a particular research topic and produce a variety of publications ranging from academic journal articles with practical policy implications that represent a new transdisciplinary synthesis of the problem to grant proposals and policy papers. The approach assumes “peer-to-peer” interactions among the participants, and all participants share the common goal of addressing the chosen research topic from their particular perspective and sharing their own learning about other perspectives.

Atelier organizers typically choose the research topic in collaboration with a local partner and assemble a number of component resources that are available for use during the course. These resources may include lectures on specific topics, computer modeling hardware and software, reference data and literature, and training in collaborative problem solving. Research is problem-driven rather than tool-driven, but an effective workshop requires that appropriate tools be available. Some of the Gund Institute's experience with TCS is presented in *Ecological Economics: A Workbook for Problem-Based Learning* [9].

The main advantages of ateliers include [7]:

- Building researchers', students' and stakeholders' capacity for real-world problem solving;
- Creating new knowledge with practical applications for both academia and society;
- Stimulating students to generate new knowledge and to prepare for future professional lives;
- Developing a new educational model integrating conventional lectures with field-based teaching and internet-based education;

- Facilitating dialogue and mutual understanding among academia and community, and among stakeholders within a community;
- Improving communication, knowledge dissemination, and collaboration between academia and society as a whole.

Table 1

Synopsis of recent forms of knowledge production

Form of knowledge production	Features of the form
Disciplinary Research	▪ Object of research lies within a particular science scope ▪ Well-defined academic research methods are used in research ▪ Development of new knowledge or theory within specific discipline
Multidisciplinary Research	▪ A research task (real-world problem) relate to several sciences ▪ Each scientific group – Works within own framework – Uses own methods for research – Provides own scientific picture ▪ Result of research consists from several distinctive perspectives ▪ Lack of discipline cooperation and data exchange
Interdisciplinary Research	▪ A real-world problem relate to several sciences ▪ Integration of framework, data, research methodology (redrawing scientific map) ▪ Result of research is single integrative framework which provide a holistic view of the problem and way of its solving
Transdisciplinary research	▪ A focus on a real-world problem ▪ Ensures co-learning and collaboration among academic and non-academic stakeholders (encouragement of traditional knowledge) ▪ A problem under consideration dictates a research methodology ▪ Applying of participatory approach to interdisciplinary research

As our experience suggests simply implementing an atelier in local community induces a flow of benefits both for academia (papers, monographs, further researches) as well as social (new level of stakeholders' collaboration, knowledge dissemination, perception of own connection and responsibility for changes toward sustainability) etc.

According to Scholz *et al.* (2006) [7] the core patterns of TCS theory are: ontology, epistemology, methodology and project management conceptualization. We present the atelier paradigm following this framework and using example of a particular atelier.

Ecological Economics and Sustainable Forest Management Atelier. As an illustration of a particular atelier we will use one of the latest ones, which dealt with ecological economics and SFM. Last autumn GIEE and the Institute of Ecological Economics (IEE), Ukrainian National Forestry University (UNFU), applied the atelier approach to tackle problems on a way of transition forest management toward a sustainable pattern. The international atelier 'Ecological Economics and SFM in the Ukrainian Carpathians' took place in Lviv and Transcarpathian regions in fall of 2007.

UNFU is one of the Ukrainians leaders in the field of greening curriculum. This process was originate under several Tempus Tacis projects namely P_JEP02169-95 'Natural Resource Economics' (NARECO), JEP_T 10255-96 'Environment and Natural Resource Economics' (ENARECO) and D_CP-20575-1999 'Dissemination ENARECO' (DENARECO).

Together with Universities of Freiburg (Germany), Gent (Belgium) and Padova (Italy) we developed one and a half year master program aimed to prepare high-level specialists in field of society transformation towards sustainability. Each EU University provided scientific expertise in relevant areas and training.

The main peculiarities, that differ ENARECO master program from a plenty of newly established programs in the field of sustainable development, are:

- The basic theme for all classes is the question how economic and societal demands can be rendered compatible with the requirements of conservation and careful use of natural resources.
- The teaching contents of the course are not limited only to concentrating on the theory of environmentally friendly economics, but attempts practically illustrate principles of the various sectors of a

political economy. Hence students are expected to become experts, capable of implementing the principle of sustainable development in practically all-relevant areas of economy and society.

- The central concern of the program is a practice-oriented education.
- The new study program is open to graduates from different fields. It is not restricted to economists, but open to geographers, law students, forest scientists, ecologists and others [11].

It has to be mentioned here that Ukraine now establishes own economic system, which is being transformed from a centralized to a market one. In the mainstream of these much-needed changes are questions of building a proper property system to enhance natural capital of the country; one of the main components of it consists of forests. Ukraine has a low percentage of forest cover and an overall deficiency of forest resources [12]. Value of forest resources and forest ecosystem functions is very high. At the same time forests are located over the territory in a very irregular way: in steep zone forest cover is 1.32 million ha (5.4 %) and in the Carpathian it is 2.08 million ha (36.7 %) accordingly. Forest of Carpathian region habitats a lot of endangered species, high biodiversity features Carpathian forests [13–14].

In the same time permanent bias toward harvesting forest over maintaining natural capital drives revenue-searching decision-makers to destructive natural resource management despite high dependence of local population on such ecosystem services as water supply and water regulation. The urgent and vital question is how to balance business and environmental interests in a market system being developed, how to make compatible meeting primary needs with achieving sustainable development standards.

The atelier brought together scientists and students from US, Sweden and Ukraine, forest experts and entrepreneurs, local community representatives and environmental NGOs for the sake to highlight challenges, obstacles and drivers toward implementing SFM in conditions of transition economy.

Methodology. The basic principle in ateliers is that the problem being addressed determines appropriate methods, not disciplinary boundaries [8]. While ecological economic ateliers typically define problems at least partially from the perspective of three critical issues—ecologically sustainable scale, socially just distribution, and economically efficient allocation—the specific problem still determines the specific method for addressing each of these issues. Nonetheless, there are a number of general methods such as problem decomposition, analysis, synthesis, brainstorming, communicating, web-based teaching, and backward planning that are broadly applicable in most ateliers [7, 10].

The problem specific methods are by nature the most interesting and the most difficult to describe generically. Possibilities include deep interviews, focus groups, and questionnaire development; rapid ecological assessment techniques (e.g. of stream ecological integrity); quantitative techniques like statistical analysis and valuation of ecosystem services; policy analysis; and advanced computer based systems modeling. Participants choose the most relevant methods for a specific case study or for the facet of that case study they choose to address.

The EE and SFM in the Ukrainian Carpathians atelier brought together scientists and students from the US, Sweden, and Ukraine, forest experts and entrepreneurs, local community representatives and environmental NGOs. Thus prevailing in university teaching classical model ‘sender-receiver’ (Fig.2) was substituted by new integrative model (fig. 3) of stakeholders’ co-learning [15–16].

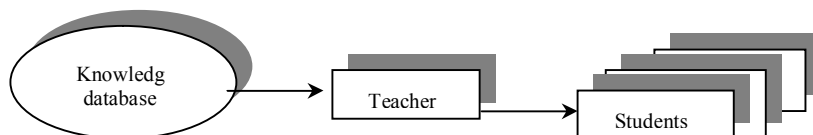


Fig. 2. ‘Sender-receiver’ model of teaching

The expertise of the various academic participants proved highly complementary and was effectively integrated with local knowledge and ability. For example, one group used relevant software to examine services generated by local forest ecosystems, identified ‘stakeholders’ preferences regarding these services using conceptual content cognitive mapping techniques, and examined those preferences by means of non-parametric statistic analysis [17]. Changes in landscapes were traced from a

historical perspective using previously compiled databases. Atelier results may take many months to be finalized, and EE and SFM in the UC results are still being written up.

Atelier Management. An atelier *per se* is an important and multifaceted scientific event and naturally it demands relevant managerial efforts. Usually web-based courses and an appropriate spadework help a lot to participants to use a precious field time in the most effective way. Main stages of the aforesaid atelier are: (1) Spadework, (2) Atelier, and (3) Final work.

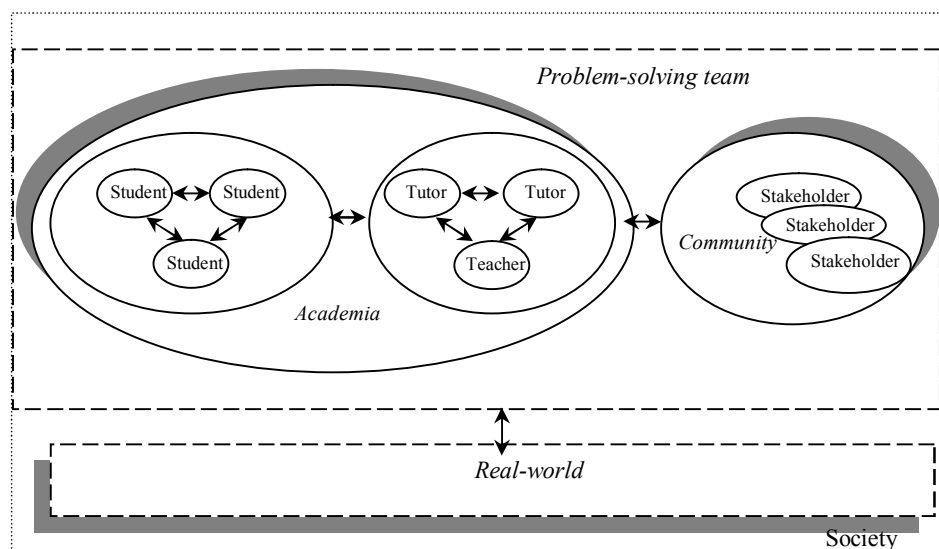


Fig. 3. Model of interactive problem-based mutual learning

The Spadework stage involves:

1) Choosing a problem, 2) Crystallizing atelier idea, 3) Announcing atelier, 4) Panel lecture on scientific environment regarding a case study, 5) Familiarization with a case study, 6) Enrolling students, 7) Selecting scientific team, 8) Developing relevant net, 9) Designing atelier web-site, 10) Building appropriate internet-based curriculum, 11) Self-regulated learning.

The Atelier stage assumes: scientific conference, field trips, discussion with stakeholders, team learning, stakeholders interviewing, data collection, team discussion, scientific expertise, preparing draft of recommendations, discussion of further investigation, debates on future publications, preliminary preparation (questionnaire, techniques, database etc). The final work contains: research, recommendations for a real world problem solving, papers, books, publication of main results on a web-site, conference.

Talking about above-mentioned atelier in Ukrainian Carpathians it is worth to mention that all preparations were done by faculties and students of GIEE and IEE. This phase of atelier development induces a lot of academic contacts both personal and institutional. Common search of relevant sources in periodical press, monographs, e-space brought benefits for both sides and resulted in a huge volume of relevant publications. When resources are available, preliminary visits can be quite useful; for example GIEE scientists visiting the IEE delivered a series of lectures on ecological economics, and IEE scientists visiting the GIEE presented a panel on Bioconservation Trends in Eastern Europe).

Atelier realization demands some special skills from its managers to ensure suitable and acceptable field-trip logistics, efficient use of a precious field time, relevant data collecting, comprehensive interviewing and numerous and fruitful discussions with stakeholders. Without any doubts we can say about an important role of the final stage. Accurate documentation, illustration and concluding home research will make an atelier constructive and creative. Dissemination of atelier participants' findings among all participants, stakeholders (especially out of academia) will bring a lot of benefits to community first of all.

Atelier findings. Ateliers as a form of TCS have a lot of outcomes. They can be organized in three groups: educational, scientific and social. Addressing the first group – educational benefits several items should be mentioned [17]:

- Innovation form of sustainability teaching is pioneered /updated;
- Self-regulating sustainability learning is originated / improved;
- Cross-institutional knowledge exchange is facilitated;
- Sustainability capacity-building curriculum and didactics is enriched;
- A fruitful blend of academic lecturing, problem-based learning and internet-based education;
- Interdisciplinary and collaborative teaching model for mutual academia and society learning is designed and implemented.

Viewing ateliers' result from a scientific perspective we have to mention following:

- New approaches, tools and techniques usually accompany conceptualized case study of specific phenomena caused by human activity in ecological-economic systems;
- Scientific knowledge are complemented by knowledge of a society, community and / or stakeholders;

▪ Strengthen relations between university education and science. It should be mentioned here that in former USSR an university education was decoupled from pure scientific research, hence the question of establishing strong links among them pays special attention from the Ukrainian Ministry of Education and Science.

And indeed, the last but not the least – social benefits, the third pillar of the sustainable development:

- Communities involved in atelier development obtain a powerful surge of knowledge, ideas, scientifically-grounded recommendations toward implementing eco-innovations in business, professional and personal environment;

- Communities established links to academia;
- Creative and fruitful polylogue among stakeholders was originated;
- Students familiarized themselves with a real-world problem and community capacity-building methodology they will face throughout those future careers;
- Institutions and communities improved cross-cultural relations.

Conclusions. Basic premises of evolving paradigm of post normal science [18] are: investigated phenomena are evolutionary, context- and values dependent and hence decisions are subjective and illuminate, dialog and co-operative learning are essential. Under these conditions new style of behavior, policy and teaching is demanded. An atelier methodology as an advanced form of TCS approach to real-world problems solving is needed to help society as whole and to community in particular to tackle sustainability challenges.

Indeed, such science-intensive decade, to be proposed by an atelier, which combined international conference, panel lectures and discussions, field trip and group work, brought a sharper insight of a real-world problem, improved existing model of problem-based interactive learning and enrich it through concrete examples of community capacity-building activity, induced a plenty of further research, papers and other inter- and transdisciplinary and cross-cultural exchanges. It helped local stakeholders to understand real character of existing problems, possible scenarios and trends of their development, instruments and arrangements for dealing with such problems according to the sustainable development strategy.

As we are convinced now ateliers, TCSs are essential part of education for sustainable development on the whole and in approaching SFM in particular. Weak links between practice and forest research could be mentioned as one of subjective limitations on the way of dissemination of new knowledge [19], especially knowledge on eco-innovations, processes that contribute to sustainable development.

References

1. *Daly, H.* Ecological Economics. Principles and applications / H. Daly, J. Farley. – Washington: Island Press, 2004. – 454 p.
2. *Haken, H.* Synergetics, an Introduction: Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry, and Biology, 3rd rev. enl. ed.: Springer-Verlag, N.Y., 1983.
3. *Prigogine, I.* Is future given? – River Edge: World Scientific, 2003. – 145 p.

4. Bertalanffy, L. von, Untersuchungen über die Gesetzlichkeit des Wachstums. I. Allgemeine Grundlagen der Theorie; mathematische und physiologische Gesetzlichkeiten des Wachstums bei Wassertieren. Arch. Entwicklungsmech., 131: 1934.613-652.
5. Funtowicz, S. Science for the post-normal age / S. Funtowicz, J. Ravetz // Futures 25: 1993. – P. 739-755.
6. Söderbaum, P. Ecological Economics. Earthscan, London Brewer, G.D., 1999. The Challenges of Interdisciplinarity. Pol Sci 32, 2001. – P. 327-337.
7. Scholz, R. W. Transdisciplinary case studies as a means of sustainability learning: historical framework and theory / R. W. Scholz, D. J. Lang, A. Wiek // International Journal of Sustainability in Higher Education, 2006. – P. 226-251.
8. Farley, J. Transdisciplinary paths towards sustainability: new approaches for integrating research, education and policy / J. Farley, L. Zahvoyska, L. Maksymiv // Ecological economics and sustainable forest management: developing a transdisciplinary approach for the Carpathian Mountains. I. P. Soloviy, W. S. Keeton (Eds.). – Lviv: Liga-Press, 2009. – P. 55-69.
9. Ministry of Research, Science and Technology Transdisciplinary research (TDR) and sustainability. Prepared by K. Cronin. 2008. 36 p.
10. Farley, J. Ecological Economics. A Workbook for Problem-Based Learning / J. Farley, J. Erickson, H. Daly. – Island Press, Washington: 2005.
11. Essmann, H. ENARECO – a new master study course on environmental economics in Ukraine: Ideas, objectives, contents / H. Essmann, N. Lust, D. Pettenella. – Padova, 1999. – 103 p.
12. UNECE, FAO Geneva Timber and Forest Discussion Paper 32. Forest and Forest Products Profile: Ukraine. I. Buksha, V. Pasternak, V. Romanovsky. UN, Geneva, 2003.
13. Costanza, R. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital / R. Costanza, R. d'Aarge, R. de Groot // Nature. – 387. – 1997. – P.253-260.
14. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
15. Stauffacher, M. Learning to research environmental problems from a functional-constructivism perspective: the transdisciplinary case study approach / M. Stauffacher, A. I. Walter, D. J. Lang // International Journal of Sustainability in Higher Education. – 3. – 2006. – 252-275.
16. Zahvoyska, L. Deeping insights of stakeholders' perceptions regarding forest values / L. Zahvoyska // Zadnik-Shtirn L., Drobne S. (Eds.), Proceedings of the 9th International Symposium on Operational Research. SDI, Ljubljana, 253-258 International Journal of Sustainability in Higher Education, 2006. Applying Transdisciplinary Case Studies as a Means of Organizing Sustainability Learning. Posh, A. and Scholz, R. (Guest eds). – 2007. – Vol. 7. # 3, 219-367.
17. Zahvoyska, L. A Transdisciplinary Learning Model for Integrating Research and Policy in Sustainable Forest Management / L. Zahvoyska, L. Maksymiv // L. Zadnik Stirn (Ed.). International symposium on emerging needs of society from forest ecosystems: towards the opportunities and dilemmas in forest managerial economics and accounting. Proceedings. – Ljubljana: University of Ljubljana, 2008. – P. 168-175.
18. Peyron, J. The difficult implementation of economic models: Critical analysis from three forestry examples / J. Peyron // Sisak, L., Joebstl H., Merlo M. (Eds.). From Theory to Practice. Gaps and Solutions in Managerial Economics and Accounting in Forestry. Czech University of Agriculture, Prague, 1999. – 33-40.

Статья поступила в редакцию 22.05.09.

Л. Д. Загвойская

НАУЧНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД К ИНТЕГРАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРЕПОДАВАНИЮ В СФЕРЕ ЭКО-ИННОВАЦИЙ

Трансформация общества в сторону устойчивости требует эффективного сотрудничества всех заинтересованных сторон и интенсивного обмена знаниями между наукой, бизнесом и обществом. Для решения вопросов по сложным проблемам требуются знания и компетентность, чтобы эффективно отвечать на вызовы современности. Научные лаборатории являются специфической формой междисциплинарного обучения эко-инновациям. Рассматриваются вопросы методологии и управления таких лабораторий.

Ключевые слова: эко-инновации, устойчивое развитие, научные лаборатории, междисциплинарные исследования.

ЗАГВОЙСКАЯ Людмила Дмитриевна – доцент Национального лесотехнического университета Украины (Львов). Научные интересы – экологическая экономика и экономика окружающей среды, эколого-экономическое моделирование. Автор более 170 публикаций. E-mail: zahvoyska@ukr.net.

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 630*524.39+630*174.754

*В. А. Усольцев, Е. Л. Воробейчик,
Е. В. Хантемирова, И. Е. Бергман, А. Ф. Уразова*

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ НАСАЖДЕНИЙ ПО ГРАДИЕНТАМ АЭРОЗАГРЯЗНЕНИЙ: МЕТОДИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Анализируются методы количественной оценки биологической продуктивности насаждений по градиентам аэрозагрязнений. Показаны примеры нарушения принципов планирования эксперимента, отмечена невозможность его идеальной реализации при разработке феноменологической модели, которая описывала бы изменения в экосистемах импактного района. Предложен метод оценки степени загрязнения по показателю продуктивности хвои дерева.

Ключевые слова: фитомасса, продуктивность лесов, загрязнение экосистем, сосна, пайп-модель, промышленные поллютанты.

Введение. В настоящее время выполнено много исследований по изменениям экосистем, испытывающих действие промышленных выбросов. Хотя перспективность анализа зависимостей «доза-эффект» на экосистемном уровне, дающих прямой выход на проблему устойчивости, была декларирована еще в середине 1970-х, на настоящий момент имеются лишь единичные попытки их построения. Причины этого вытекают из прикладного характера большинства подобных исследований и, как следствие, – недостаточного количества экспериментальных точек для адекватного представления траектории реакции экосистемы; включения в анализ неполного спектра компонентов; нарушения синтопности регистрации параметров биоты и содержания токсикантов.

Для разработки проблемы необходимы соответствующие экспериментальные полигоны. В идеале такой полигон должен представлять территорию, в пределах которой крупный длительно действующий (порядка 50–80 лет) точечный источник эмиссии поллютантов «погружен» в фоновую (т.е. мало затронутую хозяйственной деятельностью) среду. Обширные пространства фоновой среды Урала в сочетании с наличием крупных длительно действующих источников выбросов дают уникальную возможность заниматься экспериментальными работами с целыми экосистемами на уровне территориальных комплексов. На Урале одним из наиболее интенсивных источников токсичных выбросов в атмосферу является медеплавильное производство, в частности, Среднеуральский медеплавильный завод (СУМЗ) в Свердловской области и ЗАО «Карабашмедь» в Челябинской области.

Исследование локального воздействия на биоту необходимо для определения его направленности и величины эффектов, исследования зависимостей «доза-эффект». В качестве стрессового фактора рассматривается многолетнее аэрогенное поступление токсичных микроэлементов от источника промышленных выбросов, формирующее крупную геохимическую аномалию. Степень проявления аномалии экспоненциально убывает с удалением от ее центра (источника эмиссии токсикантов) и, соответственно, на экосистемы накладывается градиент нагрузки.

Из 17 наиболее известных на планете полигонов по проблематике загрязнений экосистем нет ни одного, где бы в поле зрения исследователей попали все группы биоты (древостой, трав-

стой, почва, почвенная фауна и др., всего 15 групп). Более того, ни один полигон не соответствует понятию идеального эксперимента, требующего, как минимум, пространственной однородности фоновой среды, которая была бы обеспечена до начала действия источника выбросов на всей территории его потенциального влияния [1]. Применительно к растительному покрову – это априорная однородность экотопа и фитоценоза на всей исследуемой территории. В реальном эксперименте по оценке влияния загрязнений на растительный покров, в частности, на его биологическую продуктивность, мы имеем совмещенный эффект природных факторов и воздействия поллютантов, соотношение между которыми неизвестно. При оценке влияния аэрозагрязнений на лесную экосистему наиболее важна реакция ее основного эдификатора – насаждения, выраженная показателем его биологической продуктивности. По условию идеального эксперимента необходимо не только подобрать насаждения, однородные по своей структуре, определяемой видовой, возрастной и морфологической изменчивостью на момент начала эксперимента, т.е. до начала действия источника выбросов, но и (что совсем невыполнимо!) обеспечить одинаковость траекторий их предшествующего развития. Поскольку в реальном эксперименте все это невозможно, единственное, что остается – провозгласить принцип «презумпции естественности» [2], и учет «естественного» варьирования структуры насаждений в импактном районе обеспечить путем элиминации видовой и возрастной изменчивости и корректного набора достаточного количества повторностей, охватывающих полный спектр морфологической изменчивости. Чем репрезентативнее совокупность пробных площадей, тем проще вычленив антропогенную обусловленность наблюдаемых изменений по градиенту загрязнений либо представить выявленную совокупную закономерность в виде некоторого эмпирического обобщения [1]. Рассмотрим несколько типичных экспериментов, в разной степени удовлетворяющих представлению об идеале.

Методический анализ изменения биопродуктивности насаждений по градиентам аэрозагрязнений. Простейшая ситуация имеет место при исследовании изменения характеристик довольно простых в структурном отношении элементов экосистемы – например, живого напочвенного покрова (ЖНП) и подстилки по градиенту загрязнений сосновых и березовых насаждений в окрестностях ЗАО «Карабашмедь» (табл. 1).

Таблица 1

Изменение характеристик ЖНП и подстилки в сосновых и березовых насаждениях по градиенту загрязнений от предприятия «Карабашмедь» [3]

Расстояние от источника загрязнения, км	Сосна			Расстояние от источника загрязнения, км	Береза		
	Фитомасса ЖНП, кг/га	Толщина подстилки, см	Запас подстилки, кг/м ²		Фитомасса ЖНП, кг/га	Толщина подстилки, см	Запас подстилки, кг/м ²
4,2	111	6,8±0,25	6,62	4,7	91	4,7±0,18	6,45
5,5	310	6,0±0,19	7,43	6,4	113	4,0±0,22	5,62
6,6	349	5,0±0,28	7,46	8,5	514	1,9±0,17	2,72
8,3	433	3,2±0,19	4,79	13,1	678	1,6±0,10	2,28
13,8	693	3,9±0,20	6,56	17,5	613	2,2±0,15	1,76
32,0	515	3,6±0,17	5,13	31,0	553	2,2±0,18	1,74

В данном случае закономерности снижения надземной фитомассы ЖНП и увеличения мощности и запаса подстилки по мере приближения к источнику загрязнений очевидны и обусловлены, скорее всего, одним лишь воздействием поллютантов. В несколько меньшей степени, но достаточно закономерно аналогичное изменение толщины и массы подстилки в сосновых молодняках по градиенту загрязнений от СУМЗ (табл. 2). Вполне закономерна и статистически безукоризненна также динамика содержания фтора в листе деревьев по градиенту фтористых загрязнений от Полевского криолитового завода в Свердловской области (табл. 3). Более сложна в методическом отношении оценка влияния промышленных аэрозагрязнений на биологическую продуктивность лесных экосистем. Рассмотрим случай, когда продуктивность серии древостоев формировалась под действием природных факторов до возраста спелости, и лишь в последние годы на их влияние наложился антропогенный фактор в некотором градиенте.

Таблица 2

Изменение характеристик подстилки по градиенту загрязнений сосновых молодняков, прилегающих к СУМЗ [4]

Показатель	Расстояние от источника загрязнения, км			
	2,2±0,4	7,0±1,6	11,0±2,0	25,0
Толщина подстилки, см	5,9±1,1	7,1±0,7	3,7±0,3	1,8
Масса подстилки, т/га	46,1±39,8	39,1±2,6	44,4±18,5	8,4

Мансийском автономном округе. В состав продуктов сгорания попутного газа в факельных установках входят [9] окись углерода (72%), углеводороды (17%), сернистый ангидрид (6%), сажа (4%) и окислы азота (1%). Таким образом, подобран ряд одновозрастных одновидовых древостоев, т.е. исключена возрастная и видовая изменчивость. Но репрезентативность начальной морфоструктуры древостоев, имеющей место перед запуском антропогенного фактора, неизвестна, и реализованная схема эксперимента не была вероятностной [2]. Факельные установки были запущены сравнительно недавно и в разное время: в 1981, 1986 и 1991 гг.

Таблица 3

Изменение содержания свободного фтора в листьях березы по градиенту загрязнений фтористыми соединениями от Полевского криолитового завода по сезонам года, мг/кг сухого вещества [5]

Расстояние от источника загрязнения, км	Время отбора проб листьев					
	1988 г.			1989 г.		
	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень
2,5	63,3±4,4	47,0±1,0	473,3±37,8	55,0±1,0	111,6±3,3	151,7±1,7
4,0	26,3±1,8	21,3±0,8	396,7±3,3	41,0±1,5	70,7±1,9	72,7±1,3
9,0	9,0±0,5	9,0±0,7	29,9±0,9	29,3±0,7	18,8±0,6	27,0±0,6
30,0	1,1±0,5	2,0±0,2	3,4±0,7	12,0±0,0	10,0±0,0	17,7±0,9

Таким образом, период отрицательного воздействия на древостои охватывает лишь последние 7–17 лет жизни 100–124-летних сосняков, к тому же имелась существенная разница в длительности этого воздействия на прилегающие к факелам древостои. Хотя прослеживается некоторая закономерность в изменении продуктивности и фракционной структуры фитомассы древостоев по градиенту загрязнения (табл. 4), невозможно установить, в какой степени эти изменения обусловлены влиянием факелов и в какой – исходными (т.е. до запуска факелов) различиями морфоструктуры древостоев по названному градиенту. Биохимия влияния продуктов сгорания газа на древостои не исследовалась, а поскольку снежный покров и жидкие осадки испаряются в радиусе 200–250 м от трубы факела [9], снижение продуктивности сосняков в направлении к факельной установке с 240 до 100 м может быть обусловлено понижением их влагообеспеченности.

Таблица 4

Изменение таксационных показателей и структуры абсолютно сухой фитомассы по градиенту загрязнений лишайниковых сосняков Va класса бонитета, прилегающих к факельным установкам в районе нефтедобычи ХМАО [9]

Показатель	Расстояние от факельной установки, м					
	100	230	240	250	300	400
Возраст древостоя, лет	124	115	124	124	100	115
Средняя высота, м	14,6	10,6	11,2	14,0	11,9	10,4
Средний диаметр, см	24,8	12,4	14,9	20,6	13,6	14,5
Число стволов, экз/га	293	1571	1221	595	1556	1551
Запас, м ³ /га	143	111	167	144	160	185
Фитомасса стволов, т/га	50,4	49,5	79,6	68,5	76,1	75,3
Фитомасса ветвей, т/га	5,32	5,47	6,63	9,79	4,83	5,34
Фитомасса хвои, т/га	1,87	5,92	4,02	5,07	4,09	4,47
Надземная фитомасса, т/га	57,6	60,9	90,2	83,4	85,0	85,1

Вероятностная схема эксперимента отсутствовала и в работе В. Э. Власенко с соавторами [10] (табл. 5). Вопреки логике здесь проигнорирован даже принцип типичности выборки. Здесь на первых трех объектах по мере удаления от источника загрязнений соответствующего снижения величины балла повреждения ассимиляционного аппарата и процента дефолиации воз-

растают полнота и запас древостоя. Но при дальнейшем удалении и соответствующем снижении упомянутого индекса и процента дефолиации полнота и запас древостоя резко снижаются, соответственно на 46 и 40% по отношению к древостою с большей степенью дефолиации. Очевидно, что такое снижение продуктивности условно неповрежденного древостоя (индекс 1,86; дефолиация 19%) по сравнению со слабо поврежденным (индекс 2,59; дефолиация 28%) никак не связано с повреждающим действием поллютантов, а является результатом некорректного подбора объектов исследования.

Далее, пытаясь связать степень дефолиации кроны с массой хвои, авторы не пошли по пути установления названного количественного соотношения непосредственно на своих объектах путем взятия модельных деревьев, а позаимствовали опубликованное уравнение зависимости массы хвои дерева от его диаметра и нескольких таксационных показателей древостоя [11]. Это уравнение объясняло 94% изменчивости массы хвои дерева в сосняках, однако все эти сосняки находились в одной и той же зоне умеренного загрязнения, а В. Э. Власенко с соавторами экстраполировали уравнение на сосняки разной степени загрязнения, отличающиеся по степени дефолиации на 50%. Естественно, полученные ими таким способом значения массы хвои среднего дерева по градиенту загрязнения повторили упомянутую закономерность изменения продуктивности древостоев, никак не связанную с загрязнениями (последние строки табл. 5). Естественно также, что рассчитанные таким способом показатели массы хвои никак не коррелируют с процентом дефолиации.

Таблица 5

Результаты исследования морфоструктуры сосновых древостоев по градиенту загрязнений от Красноуральского промузла [10]

Показатель	Жизненное состояние древостоев			
	сильно поврежденный	средне поврежденный	слабо поврежденный	условно неповрежденный
Возраст древостоя, лет	110	85	100	80
Класс бонитета	III	II	II	II
Индекс повреждения, балл	3,45	2,63	2,59	1,86
Дефолиация, %	49,8	25,5	28,4	18,9
Средняя высота, м	22,5	22,0	25,0	28,5
Средний диаметр, см	25,0	32,2	38,1	28,1
Площадь сечений, м ² /га	17,2	28,3	41,5	27,0
Запас древостоя, м ³ /га	165	295	526	313
Масса хвои среднего дерева, кг	7,52	15,2	17,1	6,97

Аналогична ситуация при оценке влияния аэрозагрязнений от Рижского суперфосфатного завода, основанного в конце XIX столетия, на продуктивность 85-летних сосняков (табл. 6). Все насаждения произрастают на типичной среднеподзолистой

Изменение таксационных показателей и текущего прироста древостоев по градиенту загрязнений сосновых насаждений, прилегающих к Рижскому суперфосфатному заводу [7]

Показатель	Расстояние от источника загрязнения, км				
	1,75	1,25	3,0	3,0	3,75
Возраст древостоя, лет	85	85	85	85	85
Средняя высота, м	10,9	15,6	23,2	16,0	20,6
Средний диаметр, см	29,0	25,0	33,9	25,0	31,3
Площадь сечений, м ² /га	18,3	10,5	17,9	18,4	31,3
Текущий прирост по запасу, м ³ /га	1,3	1,4	2,7	2,5	4,6

почве в типе леса *Pinetum hylocomiosum*. Однако вероятностная схема эксперимента, как и в предыдущих случаях, проигнорирована, и по градиенту загрязнений заложено, руководствуясь принципом «типичности», по одной пробной площади без повторностей.

Одно из наиболее полных исследований фитомассы и ее годичной продукции как в наземной, так и в подземной сферах, достаточно адекватное в методическом отношении, осуществлено в ельниках на Кольском Севере, в окрестностях комбината «Североникель» [8]. Принадлежность изучаемых ельников к кустарничково-зеленомошному типу подтверждена геоботаническими описаниями Мончетундры до начала деятельности комбината. Пробные площади представляют собой стадии техногенной трансформации ельников, обусловленные различным уровнем загрязнения выбросами комбината (табл. 7). В данном случае одного гео-

ботанического описания территорий, где впоследствии были заложены пробные площади, недостаточно для обеспечения чистоты опыта. Во-первых, маловероятно, что участки геоботанического описания и последующей закладки пробных площадей были одни и те же. Во-вторых (и это более существенно), вероятностная схема эксперимента, как и в предыдущих случаях, проигнорирована.

Таблица 7

Изменение таксационных показателей, абсолютно сухой фитомассы и ее годичной продукции по градиенту загрязнений ельников, прилегающих к комбинату «Североникель» [8]

Показатель	Расстояние от источника загрязнения, км			
	7	20	35	Около 100
Тип леса (современный)	вороничное редколесье	злаково-кустарничковый	зеленомошно-кустарничковый	кустарничково-зеленомошный
Средняя высота, м	6,2	11,7	9,2	8,1
Средний диаметр, см	10,2	19,1	16,4	13,7
Число стволов, экз/га	70	450	490	933
Площадь сечений, м ² /га	0,9	11,9	13,6	16,3
Фитомасса, т/га:				
- стволов	0,89	31,3	28,7	39,3
- ветвей	0,16	5,38	5,40	8,57
- хвои	0,07	2,38	3,65	4,47
- надземная	1,12	39,10	37,75	52,30
- подземная	0,26	9,34	9,01	12,48
- общая	1,38	48,44	46,76	64,78
Годичный прирост фитомассы, т/га:				
- стволов	0	0,10	0,14	0,27
- ветвей	0	0,26	0,28	0,33
- хвои	0,03	0,50	0,45	0,51
- надземной	0,03	0,86	0,87	1,11
- подземной	0,01	0,21	0,21	0,32
- общей	0,04	1,07	1,08	1,43

Таблица 8

Изменение таксационных показателей и абсолютно сухой фитомассы по градиенту загрязнений сосновых молодняков, прилегающих к СУМЗ [6]

Показатель	Расстояние от источника загрязнения, км			
	2,2±0,4	7,0±1,6	11,0±2,0	25,0
Возраст древостоя, лет	40	33	33	38
Средняя высота, м	8,3±3,8	13,2±0,9	12,7±2,3	16,5
Средний диаметр, см	9,1±3,4	11,7±2,2	11,4±2,0	16,4
Число стволов, тыс. экз/га	2250±212	3553±1236	3084±1205	1796
Площадь сечений, м ² /га	15,0±9,3	33,9±4,9	33,5±4,1	36,2
Запас, м ³ /га	85±76	230±37	225±38	300
Фитомасса стволов, т/га	44,6±38	77,9±29	104,4±20	118,5
Фитомасса ветвей, т/га	6,1±2,8	9,7±5,5	11,3±2,3	11,4
Фитомасса хвои, т/га	3,6±0,1	5,4±2,9	6,2±0,7	4,6
Надземная фитомасса, т/га	54,2±42	86,3±37	121,8±21	134,4

схемой закладки эксперимента в сосняках к востоку от СУМЗ, фактически повторилась при закладке в 1989 г. нашей серии пробных площадей в елово-пихтовых древостоях по градиенту загрязнений в западном направлении от СУМЗ. Но в данном случае оценка биопродуктивности насаждений по градиенту загрязнений была не одноразовой и конечной, как в приведенных выше примерах, а осуществлялась периодически на протяжении последних двух десятилетий.

В наиболее полной мере вероятностная схема эксперимента реализована в градиенте загрязнений от СУМЗ в сосновых молодняках II класса возраста, которые произрастают в одних и тех же эдафических условиях (табл. 8). В этом случае обеспечена однородность экотопа и фитоценоза на всей исследуемой территории, элиминирована видовая и возрастная изменчивость насаждений. Более того, предпринята попытка учесть морфологическую изменчивость сосняков путем закладки нескольких пробных площадей на каждом из выбранных уровней загрязнения. К сожалению, каждая из них заложена не методом случайной выборки в пределах некоторого, однородного по лесорастительным условиям участка, а по тому же принципу «типичности».

Описанная ситуация, связанная со

Методы определения фитомассы и ее годового прироста изложены ранее [12]. На каждом удалении от завода было заложено по пять пробных площадей размером 25×25 м. Приведенные в табл. 9 и 10 цифровые значения являются предварительными.

Таблица 9

Таксационная характеристика древостоев на пробных площадях

Расстояние от ист. загрязнения, км	Период наблюдений, годы	Доля хв. в составе, %	Возраст древостоя, лет	Класс бонитета	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число стволов, экз/га	Площадь сечений, м ² /га	Запас древостоя, м ³ /га
4	1989	88±6,0	67±8,5	III	16,4±0,6	18,4±1,2	1568±285	41,3±4,0	376±28
	1998	86±7,4	77±8,4	III	17,3±2,1	21,3±5,2	723±233	23,9±5,3	205±66
	2008	88±7,7	86±8,6	III	18,8±3,7	23,0±5,6	1181±585	42,1±4,5	405±50
7	1989	82±9,6	46±2,1	II	15,8±0,7	16,6±1,4	2250±320	48,9±10,6	474±160
	1998	79±6,2	56±2,2	II	16,6±0,2	18,1±0,4	1226±101	31,6±3,1	320±81
	2008	72±7,7	66±2,2	II	19,0±0,9	23,0±1,9	1155±153	47,5±4,8	523±47
30	1989	61±17,0	65±3,3	III	17,0±0,6	16,6±1,2	2019±831	42,5±11,4	283±73
	1998	88±11,0	75±3,2	III	18,5±0,8	19,0±1,8	874±190	27,1±6,5	243±62
	2008	93±10,2	85±3,2	III	20,3±0,8	23,0±1,5	1104±262	45,4±10,9	448±100

Таким образом, все реальные эксперименты по выявлению влияния загрязнителей на продуктивность лесных экосистем, в большей или меньшей степени выполняются с отклонениями от идеальной схемы закладки. Полностью уйти от этого пока не представляется возможным.

Таблица 10

Предварительные результаты исследований морфоструктуры и биопроductивности древостоев по градиенту загрязнений СУМЗ*

Расстояние от ист-ка загряз- нения, км	Период наблюдений, годы	Фитомасса, т/га			
		стволов	ветвей	хвои	надземной
а) фитомасса фракций древостоя					
4	1989	127,71±10,2	24,30±3,0	19,77±2,3	171,78±15,1
	1998	70,65±21,0	14,98±1,3	11,93±1,4	97,56±22,9
	2008	136,09±15,9	23,09±3,5	19,27±2,5	178,45±18,7
7	1989	162,50±54,1	43,52±12,3	40,69±13,8	246,71±80,1
	1998	109,52±27,0	29,12±4,7	27,44±7,0	166,08±38,6
	2008	179,52±15,8	45,76±4,0	45,20±4,1	270,48±23,3
30	1989	118,00±29,5	31,01±9,0	18,51±5,0	167,52±42,4
	1998	92,78±22,8	19,36±4,4	12,41±2,9	124,54±30,0
	2008	4,55±1,2	1,11±0,3	2,55±0,6	8,21±2,1
б) годичный прирост фитомассы древостоя					
4	1989	3,98±0,4	0,78±0,1	4,27±0,4	9,02±0,9
	1998	2,32±0,4	0,49±0,04	2,50±0,5	5,31±0,9
	2008	4,03±0,4	0,73±0,1	4,31±0,5	9,06±1,0
7	1989	6,78±2,1	1,27±0,3	7,26±2,2	15,32±4,6
	1998	4,56±1,0	0,84±0,1	4,87±0,9	10,28±2,0
	2008	7,36±0,6	1,27±0,1	7,77±0,7	16,41±1,4
30	1989	4,92±1,6	1,13±0,3	2,34±0,7	8,39±2,5
	1998	2,86±0,6	0,69±0,2	1,54±0,4	5,09±1,1
	2008	4,55±1,2	1,11±0,3	2,55±0,6	8,21±2,1

*Представлены средние значения ± ошибка среднего, учетная единица – пробная площадь, n=5.

Возможные методы экстраполяции полученных на уровне особи закономерностей на уровень ценоза пока не рассматриваются.

Цель, задачи, объекты и методы исследования. При широко практикуемой оценке повреждающего воздействия загрязнений на деревья на основе визуальных признаков остается неизвестным соответствующее снижение показателей их продуктивности в количественном выражении. Одним из достаточно информативных количественных показателей является продуктивность ассимиляционного аппарата дерева, выраженная отношением годового прироста фитомассы к массе хвои (листвы). Например, в условиях Литвы было установлено, что по мере

Если придерживаться вероятностной схемы эксперимента, вклад загрязняющих факторов в изменение биопроductивности по градиенту рассеяния загрязнителей может быть в подобных случаях выявлен на уровне эмпирических обобщений при условии учета видовой, возрастной и морфологической изменчивости древесного ценоза.

Нами предпринята попытка начать исследования по влиянию аэрозагрязнений на биопроductивность лесных насаждений с более низкого уровня организации сообщества – с уровня особи, т.е. дерева как основного структурного компонента насаждения.

приближения к заводу азотных удобрений в Йонаве с расстояния 15 км (контроль, отсутствие визуальных признаков деградации) до 8 км продуктивность хвои сосны, выраженная отношением объемного прироста ствола к массе хвои, снижается на 30% [13].

В нашем исследовании подход, реализованный в работе [13], модифицирован. Вместо объемного прироста использованы две физиологически обусловленные и значительно легче получаемые характеристики площади сечения дерева. Одна из них представлена площадью сечения ствола у основания кроны дерева, состоящей полностью из водопроводящей заболони, которая характеризует влагообеспеченность и потенциальную продуктивность хвои [14]; величина площади водопроводящей заболони может быть проще измерена на высоте груди, но визуально на этом уровне она выражена не у всех пород. Вторая представляет текущий годичный прирост площади сечения ствола на высоте груди как характеристику фактической продуктивности хвои, т.е. степени реализации упомянутой потенциальной продукционной возможности.

Традиционные физиологические методы определения продуктивности хвои, во-первых, очень трудоемки и поэтому не позволяют получить количество наблюдений, достаточное для статистически достоверного вывода, и, во-вторых, не могут обеспечить статистической независимости выборок. Наше исследование осуществляется на количественной оценке продуктивности ассимиляционного аппарата по соотношению косвенных характеристик ксилемного и флоэмного транспорта дерева. Вследствие простоты и малой трудоемкости выполнения упомянутых измерений они могут быть получены в количестве, достаточном для статистически достоверного вывода, а многофакторный метод анализа позволяет исключить влияние биотических факторов и выявить степень воздействия лишь абиотических факторов (загрязнений) на продуктивность ассимиляционного аппарата дерева.

Ранее нами было установлено, что оценка продуктивности ассимиляционного аппарата деревьев под влиянием загрязнений на основе пайп-модели [14] приводит к существенному остаточному варьированию массы хвои [11]. Было высказано предположение, что причина этого кроется в неучтенном эффекте флоэмного транспорта: пайп-модель описывает лишь потенциальную продуктивность хвои, опосредованную площадью сечения водопроводящей заболони, а реализация этой потенции определяется при прочих равных условиях количеством отложенных в дереве ассимилятов. Таким образом, для корректной оценки продуктивности хвои необходимо включать в регрессионную зависимость оба определяющих фактора, т.е. диаметр или площадь сечения ствола у основания кроны (как характеристику ксилемного транспорта) и годичный прирост площади сечения ствола на высоте груди (как характеристику флоэмного транспорта).

Исследование названной зависимости выполнено на двух объектах, соответственно в сосняках и ельниках. В первом случае это сосняки Среднего Урала, входящие в зону умеренного загрязнения (классификация В.В.Фомина [15]) в окрестностях СУМЗ, а также сосняки Тургайского прогиба (фоновая зона); во втором случае – елово-пихтовые древостой Среднего Урала, входящие в три зоны загрязнений по их градиенту к западу от СУМЗ.

На пробных площадях по соответствующей методике [16] на модельных деревьях был проведен комплекс работ с определением массы хвои (P_f , кг), диаметра ствола у основания кроны (D_{bc} , см), годичного прироста площади сечения ствола на высоте груди (Z_g , см²) и годичного объемного прироста ствола (Z_v , дм³), средних за последние пять лет. Количество взятых модельных деревьев: сосны в Тургайском прогибе – 127 на 13 пробных площадях, сосны на Среднем Урале – 250 на 35 пробных площадях, ели – в каждой из названных трех зон по 7 деревьев, всего 21. Для района СУМЗа использованы данные по трем участкам, расположенным в 30 км к западу от завода (фоновая зона), в 7 км (буферная-2) и в 4 км (буферная-1).

Результаты и их анализ. Экспериментальные данные модельных деревьев обработаны по программе многофакторного регрессионного анализа, и получены модели:

$$\begin{aligned} - \text{ для сосны } \ln P_f = & -3,540 + 0,163X + 1,307 \ln D_{bc} + 0,615 \ln D + 0,340 \ln Z_r + \\ & + 0,121(\ln Z_r)(\ln D) - 0,205(\ln Z_r)(\ln D_{bc}) + 0,020(\ln Z_r)(D_{bc})^3; R^2 = 0,957 \end{aligned} \quad (1)$$

где D – диаметр ствола на высоте груди (см) и Z_r – годичный радиальный прирост ствола (мм) на высоте груди, средний за последние пять лет; оба в данном случае в совокупности характеризуют величину Z_g ;

– для ели $\ln Pf = -2,935 + 0,0401X_1 + 0,0665X_2 + 1,636\ln Dbc + 0,471\ln Zg$; $R^2 = 0,954$. (2)

Для сравнения продуктивности хвои в разных зонах загрязнения в уравнения (1) и (2) были введены фиктивные переменные [17]. Приняты их обозначения для сосны: $X = 0$ – для Тургайского прогиба, $X = 1$ – для Среднего Урала; для ели Среднего Урала: $X_1 = 0$, $X_2 = 0$ – контроль; $X_1 = 0$, $X_2 = 1$ – буферная зона 1; $X_1 = 1$, $X_2 = 0$ – буферная зона 2. Результаты табулирования (1) и (2) представлены в табл. 11 и 12.

Таблица 11

Изменение продуктивности хвои* сосны Тургайского прогиба и Среднего Урала в зависимости от диаметра ствола у основания кроны (Dbc), диаметра (D) и годовичного радиального прироста на высоте 1,3 м (Zg)

Dbc, см	Сосна Тургайского прогиба			Сосна Среднего Урала		
	Годичный радиальный прирост (мм), средний за последние 5 лет					
	0,2	1,8	3,4	0,2	1,8	3,4
D = 24 см						
8	1,4/1,08	4,1/3,31	-	1,7/0,89	4,8/2,82	-
12	2,3/0,65	7,2/1,88	10,0/2,56	2,7/0,56	8,4/1,61	11,7/2,19
20	3,6/0,42	15,0/0,90	22,6/1,13	4,3/0,35	17,6/0,77	26,6/0,96
D = 40 см						
8	1,8/1,40	5,8/3,90	-	2,1/1,20	6,9/3,28	-
12	2,8/0,90	10,2/2,22	14,7/2,90	3,3/0,76	12,0/1,88	17,3/2,47
20	4,5/0,56	21,3/1,06	33,3/1,28	5,3/0,47	25,1/0,90	39,3/1,09
D = 56 см						
8	2,1/1,67	7,4/4,63	-	2,4/1,46	8,6/3,98	-
12	3,3/1,07	12,8/2,68	-	3,8/0,93	15,1/2,27	-
20	-	26,8/1,28	-	-	31,6/1,08	-

* Первая цифра в табл. 11 и 12 – масса хвои, кг; вторая цифра – продуктивность хвои, $\text{см}^2/\text{кг}$.

Таблица 12

Изменение продуктивности хвои ели Среднего Урала в зависимости от диаметра ствола у основания кроны (Dbc) и годовичного прироста поперечного сечения ствола на высоте 1,3 м по градиенту загрязнений

Dbc, см	Годичный прирост поперечного сечения ствола на высоте 1,3 м, см^2				
	1	3	5	10	15
Буферная зона 1					
8	1,7 / 0,587	2,9 / 1,050	3,6 / 1,376	5,0 / 1,986	6,1 / 2,462
20	7,6 / 0,131	12,8 / 0,235	16,3 / 0,307	22,5 / 0,444	27,3 / 0,550
32	16,4 / 0,061	27,6 / 0,109	35,1 / 0,142	48,6 / 0,206	58,9 / 0,255
Буферная зона 2					
8	1,7 / 0,603	2,8 / 1,078	3,5 / 1,413	4,9 / 2,039	5,9 / 2,527
20	7,4 / 0,135	12,5 / 0,241	15,8 / 0,316	22,0 / 0,455	26,6 / 0,564
32	16,0 / 0,062	26,9 / 0,112	34,2 / 0,146	47,4 / 0,211	57,3 / 0,262
Фоновая зона (контроль)					
8	1,6 / 0,627	2,7 / 1,122	3,4 / 1,470	4,7 / 2,122	5,7 / 2,630
20	7,1 / 0,140	12,0 / 0,251	15,2 / 0,328	21,1 / 0,474	25,5 / 0,587
32	15,4 / 0,065	25,8 / 0,116	32,8 / 0,152	45,5 / 0,220	55,1 / 0,272

ставляют в Тургае 250–270, а на среднем Урале – 470–510 мм) продуктивность хвои ниже, чем в оптимальных, т.е. для отложения единицы прироста ствола требуется большая ассимилирующая масса. Мы получили противоположный результат, который может быть обусловлен относительной близостью источников промышленных загрязнений на среднеуральских объектах, хотя признаков деградации хвои и древостоев при предварительном визуальном обследовании не было выявлено. Можно считать, что в уральских сосняках, расположенных на расстоянии 10–15 км от источника выбросов, выявленное снижение продуктивности хвои по сравнению с сосняками Тургай объясняется вредным воздействием выбросов на ассимиляционный аппарат. Так же отсутствовали визуальные различия в охвоенности деревьев ели по градиенту загрязнений. Тем не менее, судя по табл. 13, наблюдается некоторое повышение массы хвои и, напротив, снижение ее продуктивности по мере приближения к источнику загрязнений при условии одних и тех же значений как ксилемного (Dbc), так и флоэмного (Zg) транспорта у деревьев.

Количественную оценку изменения продуктивности ассимиляционного аппарата деревьев по градиенту загрязнений можно выполнить и без довольно трудоемкого определения массы хвои, ограничившись измерением дендрометрических показателей, характеризующих ксилемный и флоэмный транспорт дерева. Покажем это на примере ели. Рассчитаны уравнения:

$$\ln Z_g = -0,278 - 0,0602X_1 - 0,278X_2 + 2,232 \ln Dbc - 0,829 \ln A; R^2 = 0,933; \quad (3)$$

$$\ln Z_v = -0,0278 - 0,0013X_1 - 0,240X_2 + 2,776 \ln Dbc - 1,259 \ln A; R^2 = 0,953. \quad (4)$$

Все константы при дендрометрических переменных в уравнениях (1)–(4) значимы на уровне $t_{0.5}$. Возраст дерева A (лет) включен в (3) и (4) с целью нейтрализовать его влияние на зависимость прироста от диаметра водопроводящей заболони Dbc .

Результаты табулирования уравнений (3) и (4) при заданном возрасте $A = 90$ лет (табл. 12) свидетельствуют о закономерном снижении прироста площади сечения и объемного прироста при одной и той же величине диаметра ствола у основания кроны равновеликих деревьев ели по мере приближения к источнику загрязнения, соответственно на 32 и 27%.

Таблица 13

Зависимость годичного прироста площади сечения на высоте груди (см^2) (первая цифра) и годичного объемного прироста стволовой древесины ели (дм^3) (вторая цифра) от диаметра ствола у основания кроны в возрасте 90 лет по градиенту загрязнения

Зоны	Диаметр ствола у основания кроны, см					
	8	12	16	20	24	28
Буферная 1	1,42 / 0,9	3,52 / 2,6	6,68 / 5,8	10,99 / 10,8	16,51 / 18,0	23,29 / 27,6
Буферная 2	1,77 / 1,1	4,37 / 3,3	8,31 / 7,4	13,67 / 13,8	20,54 / 22,8	28,98 / 35,1
Фоновая	1,88 / 1,1	4,64 / 3,3	8,83 / 7,4	14,52 / 13,8	21,82 / 22,9	30,78 / 35,1

Заключение. Исследования воздействий промышленных поллютантов на биопродуктивность лесных экосистем в настоящее время сопряжены с трудностями учета исходных (т.е. до начала действия поллютантов) характеристик их возрастной, видовой и морфологической структуры. Предложенный метод оценки названных воздействий на более низком уровне организации растительного мира, уровне особи с учетом ее опосредованных физиологических характеристик, с последующей экстраполяцией выявленных закономерностей на уровень ценозов может оказаться продуктивным, особенно на допороговых уровнях загрязнения.

Список литературы

1. Воробейчик, Е. Л. Экология импактных регионов: перспективы фундаментальных исследований / Е. Л. Воробейчик // Ученые записки Нижнетагильской государственной социально-педагогической академии. Матер. VI Всероссийского популяционного семинара «Фундаментальные и прикладные проблемы популяционной биологии». – Нижний Тагил, 2004. – С. 36-45.
2. Воробейчик, Е. Л. «Грязная» экология в ИЭРиЖ / Е. Л. Воробейчик // Уральская экологическая школа: вехи становления и развития. – Екатеринбург, 2005. – С. 175-217.
3. Бачурина, А. В. Влияние промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь» на состояние прилегающих лесных насаждений: Автореф. дис.... канд. с.-х. наук / А. В. Бачурина. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. – 21 с.
4. Юсупов, И. А. Состояние и устойчивость искусственных сосновых молодняков в условиях аэропромвыбросов на Среднем Урале: Автореф. дис.... канд. с.-х. наук / И. А. Юсупов. – Екатеринбург: УГЛТА, 1996. – 25 с.
5. Левчук, Л. А. Состояние березовых насаждений и вегетативное возобновление березы в условиях фтористых загрязнений: Автореф. дис.... канд. с.-х. наук / Л. А. Левчук. – Свердловск: УЛТИ, 1991. – 25 с.
6. Юсупов, И. А. Надземная фитомасса искусственных молодняков сосны в условиях аэропромвыбросов на Среднем Урале / И. А. Юсупов, С. В. Залесов, Н. А. Луганский // Биологическая рекультивация нарушенных земель. – Екатеринбург: Ин-т леса УрО РАН, 1997. – С. 266-278.
7. Лиена, И. Я. Временной ход реакции сосняков в условиях изменчивого загрязнения воздуха / И. Я. Лиена, О. Э. Никодемус, К. К. Раман, А. Я. Скудра // Темпоральные аспекты моделирования и прогнозирования в экологии. Сб. научн. тр. – Рига: ЛатГУ, 1986. – С. 114-127.
8. Лукина, Н. В. Изменение первичной продуктивности еловых древостоев под влиянием техногенных загрязнений на Кольском Севере / Н. В. Лукина, В. В. Никонов // Лесоведение. – 1991. – № 4. – С. 37-45.
9. Крючков, К. В. Влияние факелов по сжиганию попутного газа на лесные насаждения: Автореф. дис.... канд. с.-х. наук / К. В. Крючков. – Екатеринбург: УГЛТА, 2000. – 20 с.
10. Власенко, В. Э. К вопросу об изучении продуктивности сосновых лесов в условиях регионального промышленного загрязнения / В. Э. Власенко, С. Л. Менщиков, Г. В. Андреев // Лесная таксация и лесоустройство. – 2001. – №1(30). – С. 145-147.

11. Усольцев, В. А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев / В. А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 216 с.
12. Усольцев, В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения / В. А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 637 с.
13. Сидаравичюс, Й. М. Изменение биологической продуктивности деревьев при различном уровне атмосферного загрязнения / Й. М. Сидаравичюс // Закономерности роста и производительности древостоев. – Каунас: ЛитСХА, 1985. – С. 228-230.
14. Shinozaki, K. A Quantitative analysis of plant form – the pipe model theory / K. Shinozaki, K. Yoda, K. Hozumi, T. Kira // Jap. J. Ecol. – 1964. – Vol. 14, No. 3. – 1: Basic analysis. P. 97-105; No. 4. – 2: Further evidence of the theory and its application in forest ecology. P. 133-139.
15. Фомин, В. В. Морфофизиологическая оценка состояния сосновых молодняков в зоне действия атмосферных загрязнений Первоуральско-Ревдинского промышленного узла: Автореф. дис... канд. с.-х. наук / В. В. Фомин. – Екатеринбург: УГЛТА, 1998. – 23 с.
16. Усольцев, В. А. Формирование банков данных о фитомассе лесов / В. А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – 541 с.
17. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.

Работа поддержана РФФИ, гранты №№ 09-05-00508, 08-04-91766-АФ, а также Программой Президиума РАН «Биологическое разнообразие».

Статья поступила в редакцию 22.04.09.

**V. A. Usoltsev, E. L. Vorobeichik,
E. V. Khantemirova, I. E. Bergman, A. F. Urazova**

STUDYING FOREST BIOLOGICAL PRODUCTIVITY ALONG INDUSTRIAL POLLUTION GRADIENTS: METHODOLOGICAL ANALYSIS AND OUTLOOKS

Methods of quantitative estimating of forest biological productivity according to air pollution gradients have been analyzed. Some examples of breach of experiment design principle are shown, impossibility of its "ideal" realization when creating some phenomenological model capable to describe change of ecosystems on impact region has been marked. A method of the pollution degree estimating when using a tree foliage productivity index is proposed.

Key words: biomass, forests productivity, contamination of ecosystems, pine-tree, payp-model', industrial pollutants.

УСОЛЬЦЕВ Владимир Андреевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры менеджмента Уральского государственного лесотехнического университета. Научные интересы – лесная экология. Автор более 400 публикаций. E-mail: usoltsev50@mail.ru.

ВОРОБЕЙЧИК Евгений Леонидович – доктор биологических наук, зам. директора по научной работе Института экологии растений и животных УрО РАН. Научные интересы – экологическая токсикология. Автор 75 публикаций. E-mail: ev@ipae.uran.ru.

ХАНТЕМИРОВА Елена Владленовна – канд. биол. наук, науч. сотрудник Института экологии растений и животных УрО РАН. Научные интересы – геоботаника, экология растений. Автор 45 публикаций. E-mail: ev@ipae.uran.ru.

БЕРГМАН Игорь Евгеньевич – аспирант кафедры менеджмента Уральского государственного лесотехнического университета. Научные интересы – лесная экология. Автор пяти публикаций. E-mail: mved@usfeu.ru.

УРАЗОВА Алина Флоровна – аспирант кафедры менеджмента Уральского государственного лесотехнического университета. Научные интересы – лесная экология. Автор пяти публикаций. E-mail: mved@usfeu.ru.

УДК 630*5: 630*17 + 582.795

А. К. Габделхаков, А. А. Арсланов, М. Р. Ситдилов

БИОПРОДУКТИВНОСТЬ ИСКУССТВЕННЫХ ДРЕВОСТОЕВ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Изучены запасы надземной фитомассы и годичной продукции по фракциям лесных культур липы мелколистной III–VII классов возраста. Приведены регрессионные уравнения зависимостей биопродукционных показателей деревьев от произведения квадрата диаметра на высоту.

Ключевые слова: фитомасса, продуктивность лесов, липа мелколистная, лесные культуры.

Введение. Фитомасса лесов – интегральный показатель, определяющий экологическую продуктивность лесных экосистем, используемый в целях экологического мониторинга, оценки углерододепонирующей способности лесов, моделирования продуктивности, устойчивого ведения лесного хозяйства и др. [1–5]. Лесные культуры отличаются большей продуктивностью по сравнению с естественными насаждениями, однако их биологическая продуктивность изучена крайне слабо [6]. Наиболее широко в литературе освещены в отношении биологической продуктивности культуры хвойных [6–9 и др.]. Исследования по определению фитомассы и годичной продукции деревьев и древостоев липы мелколистной малочисленны и посвящены изучению естественных липняков [8, 10–16 и др.]. Публикаций о биологической продуктивности искусственных древостоев липы мелколистной мало [17].

Цель работы – выявить особенности накопления фитомассы и продуцирования органического вещества культурами липы мелколистной в условиях Башкирского Предуралья.

Методика и объекты исследований. Закладка пробных площадей (ПП), описание лесных культур, вычисление таксационных показателей, рубка модельных деревьев, статистическая обработка материалов исследований проведены общепринятыми методами [18–20]. Методика определения надземной фитомассы и годичной продукции приведены в предыдущей работе [10]. Запас фитомассы древостоя рассчитан по данным 7–8 модельных деревьев на пробную площадь, отобранных в средних рядах культур методом направленной выборки (по одному дереву на ступень толщины) и случайно в пределах ступени. Надземная фитомасса по фракциям определена непосредственным взвешиванием, а годичная продукция – расчетным путем, все показатели приведены к абсолютно сухой массе.

Изучены лесные культуры липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.), произрастающие в Юматовском (ПП 1–3), Бик-Карамалинском (ПП4), Карабашском (ПП5) и Бирском (ПП6) участковых лесничествах, относящиеся к зоне широколиственных лесов лесной и лесостепной подзон в пределах Русской равнины. Рельеф расположения ПП ровный (на ПП6 с небольшим, до 10°, уклоном на запад), почвы определены как темно-серые лесные по механическому составу тяжелосуглинистые. Лесные культуры созданы 2-летними сеянцами на вырубках. Культуры рядовые, на ПП1 и 3 ширина междурядий 3,0 м, шаг – 0,7 м, смешение в рядах случайное: на ПП1 в качестве сопутствующих видов посажены ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.); на ПП3 – береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.). На ПП2 схема посадки 2,5×0,8 м, смешение пород сложное: первый и третий ряд – липа мелколистная, четвертый ряд из березы пушистой, в пятом ряду в случайном порядке чередуются береза пушистая и липа мелколистная, во втором и шестом ряду был посажен бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.). В настоящее время на ПП2 остались единичные экземпляры бархата амурского, на месте которого появился и разросся самосев ясеня

обыкновенного и вяза гладкого. Лесные культуры на ПП4 создавались посевом ряда желудей дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и через 2,5 м посадкой ряда 2-летних сеянцев липы, которые в ряду через 0,7 м чередовались с акацией желтой (*Caragana arborescens* L.). Дуб выпал после морозов 1979 г., появился самосев березы пушистой. Лесные культуры на ПП5 рядовые по бороздам через 2,5 м, шаг посадки 0,7 м, липа чередуется с акацией желтой, есть естественная примесь березы, черемухи обыкновенной (*Padus racemosa* G.), дуба порослевого и вяза. На ПП6 схема посадки 1,5×0,7 м, культуры рядовые, имеется примесь березы и вяза естественного происхождения.

Деревья липы на ПП1, 3, 4 и 6 имеют прямой, малосбежистый, высоко очищенный от сучьев ствол (6–9 м) с высоко поднятой кроной. На ПП6 кроны деревьев небольшие вследствие узких междурядий. На ПП2 и 5 у большинства лип высота штамба составляет 3–4 м. Часть деревьев на пробных площадях образовали порослевые гнезда с 2–5 стволами разного возраста.

Подрост отсутствует, подлесок на ПП1 – густой из лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L.), на ПП2 и 3 – редкий, представлен рябиной обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), черемухой обыкновенной и бересклетом бородавчатым (*Euonymus verrucosa* Scop.), на ПП6 – редкий, представлен малиной обыкновенной (*Rubus idaeus* L.). Тип условий местопрорастания насаждений соответствует С₂ (ПП2, 4–6) и Д₂ (ПП1, 3). Живой напочвенный покров исследованных культур беден, (на ПП6 – практически отсутствует) встречаются крапива двудомная (*Urtica dioica* L.), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.), вороний глаз (*Paris quadrifolia* L.), будра плющевидная (*Glechoma hederacea* L.), гравилат городской (*Geum urbanum* L.) и другие виды. Лесная подстилка плотная, маломощная.

Таксационная характеристика древостоев приведена в таблице 1. Культуры развиваются по I–III классам бонитета по шкале М. М. Орлова, высоко- и среднеполнотные по вспомогательной таблице Предуральского лесостепного района [21]. Изучаемые древостои существенно отличаются по продуктивности даже при близком возрасте и относительной полноте (ПП1–3).

Таблица 1

Таксационные показатели культур липы мелколистной на пробных площадях

№ пробной площади	Состав древостоя	Возраст, лет	Средние		Класс бонитета	Число стволов, экз.га ⁻¹	Полнота		Запас, м ³ га ⁻¹
			h, м	D _{1.3} , см			абсолютная, м ² га ⁻¹	относительная	
1	7Лп2В+Б ед Яс, Кл	69	19	24	II	649	27,92	0,7	248
2	5Лп5Б+БХ, Яс ед В	70	18	20	III	567	21,62	0,6	203
3	7Лп3Б ед В	67	23	22	I	586	27,37	0,6	280
4	8Лп2Б + Д	57	18	22	II	946	37,42	1,0	342
5	6Лп2Б2Чр + Дн, В	25	11	13	I	1503	18,35	0,7	100
6	9Лп1Б ед В	42	16	15	I	1366	25,90	0,8	206

Интерпретация результатов исследований. Участие деревьев различной толщины в образовании фитомассы древесного яруса не одинаково: масса древесины стволов, относящихся к ступени 20 см в 3–4 раза больше, чем у деревьев диаметром 12 см, а ветвей и листьев – в 2–8 раз. Масса ветвей и листьев обладает значительной изменчивостью, обусловленной степенью развития кроны в связи с их разным ценотическим положением в древостое. Показатели фитомассы и годичной продукции модельных деревьев в относительных величинах от общей массы варьируют мало (8–45%). Достоверные корреляционные зависимости не обнаружены. Имеются лишь незначительные тенденции снижения доли фитомассы стволов, годичной продукции стволов и ветвей при одновременном повышении фитомассы кроны и годичной продукции листьев с увеличением естественной ступени толщины. Здесь сказывается теневыносливость вида. В среднем доленое участие фракций надземной фитомассы (годичной продукции) модельных деревьев имеет следующее соотношение: древесина – 63 (42), кора – 22 (15), ветви – 14 (17) и листья 2 (27) %.

В качестве аргумента функций для выравнивания биопродукционных показателей принят «видовой цилиндр» – произведение квадрата диаметра ствола на его высоту (d^2h). Данный по-

казатель для всех модельных деревьев высоко коррелирует со всеми фракциями фитомассы (от 0,868 – для ветвей до 0,983 – для древесины стволов) и годичной продукции (от 0,830 – для коры стволов до 0,911 – для листвы). Результаты регрессионного анализа зависимости величин фитомассы и годичной продукции модельных деревьев (Y) от d^2h (m^3) в исследованных культурах представлены в таблице 2, по данным которой можно судить о высокой значимости полученных уравнений ($\alpha < 0,05$), кроме фракций годичной продукции коры стволов ПП5 и 6.

Т а б л и ц а 2

Статистические характеристики уравнений регрессии вида $Y=a(d^2h)^b$ для выравнивания биопродукционных показателей деревьев (Y)

Показа- тели	Фитомасса, кг				Годичная продукция, кг			lai, м ²
	стволы		крона		стволы		ветви	
	древесина	кора	ветви	листья	древесина	кора		
Пробная площадь №1								
a	123,8900	35,2566	20,8059	3,6445	4,6790	1,3315	2,2163	200,868
b	1,1396	0,7409	1,2098	1,3603	1,1045	0,7059	0,8408	1,3603
F	160	9	40	96	44	7	28	97
R ²	96	58	86	94	88	51	82	94
Se	0,165	0,441	0,348	0,252	0,305	0,487	0,291	0,252
Em	0,107	0,252	0,228	0,194	0,228	0,341	0,207	0,194
Пробная площадь №2								
a	115,3880	42,2572	22,1879	3,7897	3,6584	1,3398	1,6940	203,608
b	1,0226	1,1674	1,2972	1,0104	0,7360	0,8809	0,7196	1,0104
F	572	113	75	86	76	53	50	86
R ²	99	95	92	93	93	80	89	93
Se	0,104	0,266	0,362	0,265	0,204	0,292	0,248	0,265
Em	0,064	0,209	0,283	0,198	0,116	0,185	0,172	0,198
Пробная площадь №3								
a	107,5510	46,2665	11,6243	2,3770	4,3566	1,8741	0,9745	121,005
b	1,0384	1,0862	1,7923	1,6812	0,9557	1,0036	1,2192	1,6812
F	88	126	36	15	58	72	21	15
R ²	94	95	86	70	91	92	77	70
Se	0,204	0,179	0,549	0,809	0,231	0,217	0,488	0,809
Em	0,152	0,120	0,351	0,581	0,174	0,157	0,356	0,581
Пробная площадь №4								
a	113,6640	31,3319	30,0465	4,0323	5,6047	1,5449	2,1406	80,8379
b	1,0632	0,8706	1,3147	1,3422	1,2115	1,0191	0,9089	1,2665
F	196	103	68	96	134	60	31	107
R ²	96	94	91	93	95	89	81	95
Se	0,197	0,223	0,414	0,356	0,272	0,343	0,421	0,318
Em	0,116	0,157	0,286	0,237	0,210	0,247	0,283	0,195
Пробная площадь №5								
a	112,7390	37,6950	50,3174	4,4042	10,6492	3,5602	4,5525	497,6060
b	1,0467	1,0018	1,0863	0,8077	0,9334	0,8884	0,7737	0,8077
F	213	62	32	38	8	5	43	38
R ²	97	91	84	86	52	38	87	86
Se	0,103	0,182	0,275	0,189	0,484	0,588	0,169	0,189
Em	0,074	0,125	0,226	0,125	0,338	0,395	0,114	0,125
Пробная площадь №6								
a	128,4530	24,1144	13,7035	2,3287	5,4886	1,0304	1,5786	55,6438
b	0,9790	0,6384	0,7317	0,938	0,7731	0,4325	0,7039	0,9380
F	387	82	52	14	8	2	29	14
R ²	98	93	89	68	54	20	82	68
Se	0,114	0,161	0,233	0,584	0,629	0,631	0,299	0,584
Em	0,091	0,106	0,166	0,425	0,415	0,364	0,203	0,425

*/ a и b – коэффициенты регрессионного уравнения; F – значимость уравнения по критерию Фишера; R² – коэффициент детерминации, %; Se – стандартная ошибка уравнения; Em – средняя абсолютная ошибка, lai – площадь листовой поверхности.

Выравненные значения биопродукционных показателей с использованием уравнений и частотное распределение деревьев по ступеням толщины позволили рассчитать фитомассу и годовичную продукцию древостоев (таблица 3). Фитомасса стволов изученных липняков изменяется от 39 до 132 т.га⁻¹, в том числе коры – от 10 до 41 т.га⁻¹. Фитомасса кроны составляет 10– 32 т.га⁻¹, в том числе листьев 1,3–3,9 т.га⁻¹. Годичная продукция варьирует от 5,1 до 12,3 т.га⁻¹. Абсолютные значения фитомассы и годичной продукции по фракциям исследованных культур липы зависят от их полноты. Соотношения отдельных фракций в общей доле имеют близкие значения и также зависят от полноты.

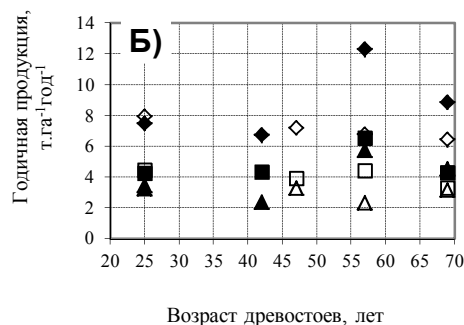
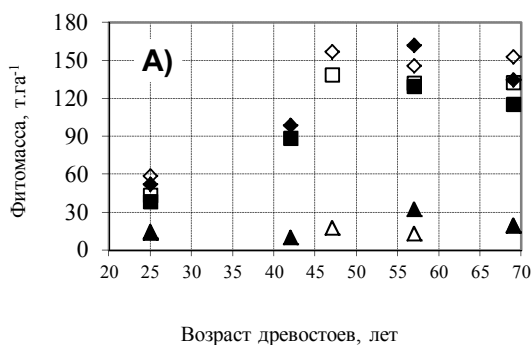
Таблица 3

Биопродукционные показатели древостоев пробных площадей
(в числителе – масса, в знаменателе - процент)

№ пробной площади	Ствол			Крона			Итого
	древесина	кора	всего	ветви	листва	всего	
Фитомасса, т.га ⁻¹							
1	<u>92,87</u>	<u>22,62</u>	<u>115,49</u>	<u>16,18</u>	<u>3,09</u>	<u>19,27</u>	<u>134,76</u>
	68,92	16,79	85,70	12,01	2,29	14,30	100,00
2	<u>59,24</u>	<u>23,17</u>	<u>82,41</u>	<u>13,07</u>	<u>1,94</u>	<u>15,01</u>	<u>97,42</u>
	60,81	23,78	84,59	13,42	1,99	15,41	100,00
3	<u>91,48</u>	<u>40,64</u>	<u>132,12</u>	<u>18,82</u>	<u>3,44</u>	<u>22,26</u>	<u>154,38</u>
	59,26	26,32	85,58	12,19	2,23	14,42	100,00
4	<u>102,19</u>	<u>27,46</u>	<u>129,65</u>	<u>28,52</u>	<u>3,86</u>	<u>32,38</u>	<u>162,03</u>
	63,07	16,95	80,02	17,60	2,38	19,98	100,00
5	<u>28,68</u>	<u>10,16</u>	<u>38,84</u>	<u>12,18</u>	<u>1,56</u>	<u>13,73</u>	<u>52,57</u>
	54,53	19,33	73,86	23,16	2,98	26,14	100,00
6	<u>71,74</u>	<u>17,00</u>	<u>88,74</u>	<u>8,99</u>	<u>1,33</u>	<u>10,33</u>	<u>99,07</u>
	72,42	17,16	89,58	9,08	1,34	10,42	100,00
Годичная продукция, т.га ⁻¹ год ⁻¹							
1	<u>3,45</u>	<u>0,86</u>	<u>4,31</u>	<u>1,47</u>	<u>3,09</u>	<u>4,56</u>	<u>8,87</u>
	38,90	9,70	48,59	16,57	34,84	51,41	100,00
2	<u>1,73</u>	<u>0,66</u>	<u>2,39</u>	<u>0,80</u>	<u>1,94</u>	<u>2,74</u>	<u>5,13</u>
	33,72	12,87	46,59	15,59	37,82	53,41	100,00
3	<u>3,52</u>	<u>1,56</u>	<u>5,08</u>	<u>0,94</u>	<u>3,44</u>	<u>4,38</u>	<u>9,46</u>
	37,21	16,49	53,70	9,94	36,36	46,30	100,00
4	<u>5,19</u>	<u>1,38</u>	<u>6,57</u>	<u>1,88</u>	<u>3,86</u>	<u>5,74</u>	<u>12,31</u>
	42,16	11,21	53,37	15,27	31,36	46,63	100,00
5	<u>3,15</u>	<u>1,12</u>	<u>4,27</u>	<u>1,70</u>	<u>1,56</u>	<u>3,25</u>	<u>7,52</u>
	41,81	14,82	56,64	22,57	20,80	43,36	100,00
6	<u>3,50</u>	<u>0,87</u>	<u>4,37</u>	<u>1,06</u>	<u>1,33</u>	<u>2,39</u>	<u>6,75</u>
	51,78	12,88	64,65	15,63	19,72	35,35	100,00

Сравнение полученных данных биопродуктивности культур липы мелколистной с показателями порослевых липняков [10] при близких возрастах и полнотах показывает, что накопление фитомассы в изученных культурах несколько ниже, однако продуцирование органического вещества после 50-ти лет выше (см. рис. на с. 81). Следовательно, культуры липы имеют больший продукционный потенциал, возраст количественной спелости у них наступает позже, чем в порослевых липняках.

Масса листьев и их площадь позволяют оценить продукционную способность листового аппарата как деревьев различного ранга, так и всего древостоя. Продукционная эффективность листовой поверхности деревьев (отношение годичной продукции к листовой поверхности) имеет тенденцию к снижению с увеличением рангового их положения в древостоях. Данная зависимость слабая (коэффициент корреляции –0,38), но достоверная, что также является следствием теневыносливости липы мелколистной. Продукционная эффективность листовой поверхности древостоев (у, т.га⁻¹), при их суммарной односторонней площади листовой поверхности в 17,05; 10,04; 17,51; 7,58; 17,61 и 3,18 га.га⁻¹ соответственно для ПП 1–6, зависит от их возраста (х, лет): $y = -0,0033 x^2 + 0,3073 x - 5,1654$ ($R^2 = 0,95$). «Работоспособность» листы древостоев наиболее эффективна в возрастной период от 40 до 55 лет.



Биопродукционные показатели естественных (светлые знаки) и искусственных древостоев (залитые знаки) липы мелколистной: А) – фитомасса; Б) – годовая продукция; $\diamond$ – всего; $\square$ – стволы; Δ – крона

Выводы. Таким образом, на биопродукционные показатели и их структуру существенное влияние оказывает густота создаваемых лесных культур, связанная со схемой посадочных мест. Продукционная эффективность листовой поверхности древостоев существенно меняется с возрастом. Накопление фитомассы в изученных культурах ниже по сравнению с порослевыми липняками, но продуцирование органического вещества ими после 50-ти лет выше.

Список литературы

1. Кавеленова, Л. М. О возможности использования липы сердцелистной в биоиндикации загрязнения окружающей среды / Л. М. Кавеленова, А. В. Нуштаева // Самарская Лука. – 1996. – №7. – С. 219 – 223.
2. Курбанов, Э. А. Углерододепонирующие насаждения Киотского протокола / Э. А. Курбанов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 184 с.
3. Романовский, М. Г. Продуктивность, устойчивость и биоразнообразие равнинных лесов европейской России / М. Г. Романовский. – М.: МГУЛ, 2002. – 92 с.
4. Усольцев, В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения / В. А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 637 с.
5. Уткин, А. И. Опыт мониторинга биологической продуктивности искусственных насаждений / А. И. Уткин, Т. А. Гульбе, Я. И. Гульбе // Лесоведение. – 1996. – №2. – С. 13-28.
6. Бабич, Н. А. Биологическая продуктивность лесных культур / Н. А. Бабич, М. Д. Мерзленко. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1998. – 89 с.
7. Габеев, В. Н. Экология и продуктивность сосновых лесов / В. Н. Габеев. – Новосибирск: Наука, 1990. – 229 с.
8. Дылис, Н. Д. Фитомасса лесных биогеоценозов Подмосковья / Н. Д. Дылис, Л. М. Носова. – М.: Наука, 1977. – 144 с.
9. Курбанов, Э. А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района / Э. А. Курбанов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 300 с.
10. Габделхаков, А. К. Первичная продуктивность липняков Башкирского Предуралья / А. К. Габделхаков // Лесоведение, – 2001. – №3. – С.38-45.
11. Карманова, И. В. Пространственная структура сложных сосняков / И. В. Карманова, Т. Н. Судницына, Н. А. Ильина. – М.: Наука, 1987. – 201 с.
12. Ремезов, Н. П. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах Европейской части СССР / Н. П. Ремезов, Л. Н. Быкова, К. М. Смирнов. – М.: Изд-во МГУ, 1959. – 284 с.
13. Ситдинов, Р. Г. Продуктивность липовых насаждений и научные основы их воспроизводства / Р. Г. Ситдинов. – Уфа: Гилем, 1999. – 135 с.
14. Смирнов, В. В. Продуктивность древостоев подзоны широколиственно-еловых лесов. Сообщение 3. Продуктивность 77-летнего древостоя липы / В. В. Смирнов, В. Г. Семенова // Растительные ресурсы. – 1970. – Т.6. – №2. – С. 165-176.
15. Соколов, П. А. Состояние и теоретические основы формирования липняков / П. А. Соколов. – Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1978. – 208 с.
16. Уварова, С. С. Рост и фитомасса древостоев липы в Свердловской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / С. С. Уварова. – Екатеринбург, УГЛТУ, 2006. – 23 с.
17. Tokar, F. Nadzemna biomasa zmiesaneho porastu oreha cierneho (*Juglans nigra* L.) a lipy malolistej (*Tilia cordata* Mill) / F. Tokar // Lesnictvi, – 1986, – R. 32. – С. 11. – S. 1011-1020.
18. Анучин, Н. П. Лесная таксация / Н. П. Анучин: Учебник для ВУЗов. – 5-е изд., доп. – М.: Лесн. промышленность, 1982. – 552 с.
19. Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
20. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. – М.: ЦБНТИлесхоз, 1984. – 60 с.
21. Шестаков, А. Ф. Лесотаксационные таблицы, рекомендуемые для Башкирской АССР / А. Ф. Шестаков. – Уфа, 1966. – С 8.

Статья поступила в редакцию 04.05.09.

A. K. Gabdelkhakov, A. A. Arslanov, M. R. Sitdikov

**BIOPRODUCTIVITY OF ARTIFIVIAL TILLET FOREST
IN THE BASHKIRIAN CIS-URAL REGION**

The above-ground phytomass stocks and annual production according to the III-VII age class artificial small-leaved lime forest fraction were studied. Regressive equations of bioproductive tree indicators dependences from the square of diameter on the height product are resulted.

Key words: *biomass, forests productivity, Tilia-cordata, regressive analysis.*

ГАБДЕЛХАКОВ Айдар Кавилович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства Башкирского государственного аграрного университета. Научные интересы – лесная таксация, продуктивность и фитомасса насаждений липы мелколистной. Автор более 50 публикаций. E-mail: aliya201199@mail.ru.

АРСЛАНОВ Айрат Альфитович – аспирант кафедры «Лесные культуры». Научные интересы – продуктивность и структура фитомассы древесных пород. Автор 6 публикаций. E-mail: gabdrahimov@mail.ru.

СИТДИКОВ Марат Рахмадянович – младший научный сотрудник ГУ Института рационального природопользования. Научные интересы – лесная таксация, продуктивность основных лесообразующих пород Республики Башкортостан. Автор одной публикации. E-mail: i_les@mail.ru.

УДК 504.53.630.1

И. И. Васенев, Т. В. Раскатова

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОНОВОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ
ПОЧВ ЛЕСНОЙ ОПЫТНОЙ ДАЧИ РГАУ-МСХА**

Представлены результаты комплексного фонового экологического мониторинга лесных дерново-подзолистых почв на особо охраняемой природной территории в пределах мегаполиса Москвы. Установлены закономерности пространственной изменчивости функционирования почв по основным элементам мезорельефа и их временной изменчивости в течение периодов вегетации двух контрастных лет.

Ключевые слова: экологический мониторинг, почвы, лесные насаждения, пространственное распределение.

Введение. Процессы антропогенной деградации окружающей среды наиболее интенсивно проявляются в урбанизированных районах [1–5]. Для защиты и рационального использования окружающей среды выделяются особо охраняемые природные территории (ООПТ), формирующие экологический каркас устойчивого развития природно-техногенного ландшафта [6, 7]. Крупнейший в Восточной Европе мегаполис Москва располагает целым рядом лесных ООПТ, выполняющих функции «легких столицы». Одним из наиболее интересных из них является Лесная опытная дача РГАУ-МСХА (ЛОД), имеющая большое природоохранное значение и длительную историю исследований ряда антропогенно измененных экосистем [8–14].

Почвенно-экологический мониторинг подразумевает системные наблюдения за состоянием почв с оценкой и прогнозом их пространственно-временных изменений [15–20]. Обязательным элементом городского и регионального почвенно-экологического мониторинга является базовый мониторинг ООПТ, как контрольных объектов для соответствующей территории. При этом особое внимание должно уделяться фоновой пространственной изменчивости почв, которая имеет важное значение для обоснованной интерпретации результатов мониторинга.

Цель данной работы состояла в проведении комплексных мониторинговых исследований дерново-подзолистых почв ЛОД с выявлением закономерностей пространственной изменчивости и временных изменений основных функциональных групп диагностических параметров мониторинга.

Объекты и методы исследований. ЛОД занимает юго-западную часть землепользования РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева в Северном округе Москвы. По исходным природным условиям она входит в южную подзону смешанных хвойно-широколиственных лесов. Территория сложена четвертичными отложениями, с подстиланием юрскими глинами мощностью 20–22 м. Моренный суглинок двучленного строения является основной почвообразующей породой. В понижениях отмечаются флювиогляциальные отложения, локально – маломощный покровный суглинок. Площадь Дачи имеет вид вытянутого с северо-запада на юго-восток многоугольника максимальной длиной 2,8 км и шириной 1,6 км.

Центральную часть ЛОД занимает плоский водораздельный холм, морфология его склонов крутизной 2–3° меняется в зависимости от экспозиции: северный, восточный и северо-западный склоны прямолинейные, южный склон имеет слабовогнутую форму, осложненную ложбинами, понижениями и западинами [11, 12]. Преобладающими почвами на территории ЛОД являются дерново-подзолистые, различающиеся по выраженности дернового, подзолистого и глеевого процессов, гранулометрическому составу почв и почвообразующих пород [13, 14].

В основе наших полевых наблюдений лежит исследование представительных ключевых участков (КЛУ). При их выборе мы опирались на ранее заложенную трансекту [13] почвенно-экологических исследований – КЛУ № 1,2,3. В продолжении трансекты нами были заложены КЛУ № 4 и 5 на противоположном (юго-западном) склоне моренного холма (табл. 1).

Таблица 1

Экологическая характеристика ключевых участков исследований

Параметр		Ключевой участок (КЛУ)				
		1	2	3	4	5
Рельеф		Подшва прямого короткого слабопокатого склона СВ экспозиции	Средняя часть прямого короткого слабопокатого склона СВ экспозиции	Вершина моренного холма	Средняя часть пологого слабоогнутого склона повышенной длины ЮЗ экспозиции	Подшва пологого слабоогнутого склона повышенной длины ЮЗ экспозиции
Литология		Моренный суглинок		Покровный суглинок на морене	Флювиогляциальные отложения	
Почвы	тип	подзолистые				
	подтип	дерново-подзолистые			дерново-подзолистые поверхностно-оглеенные	
Тип леса		Сосняк буро-щитовниковый	Липняк сложный осоково-щитовниковый	Дубняк с липой сложный буро-копытневый	Сосняк разнотравно-осоковый	Сосняк щитовниково-осоковый

КЛУ закладывались размером 40x40 м², где изучался фитоценоз и почвенный покров. В центре участка закладывались опорные разрезы, проводились морфогенетические описания и режимные наблюдения, отбирались образцы для анализа в лаборатории. Для определения пространственной изменчивости актуальных свойств почв закладывались прикопки. Полевое описание и определение почв проводилось по общепринятым методикам [21] и классификации [22].

Почвенные режимы исследовались путем ежемесячных наблюдений в вегетационных сезонах 2006 года (24.IV; 23.V; 27.VI; 25.VII; 28.VIII; 10.X) и 2007 года (31.V; 27.VI; 27.VII; 28.VIII; 25.IX). Общая схема полевых режимных наблюдений включала определение температуры почвы вытяжными термометрами, влажности почвы – термостатно-весовым методом, плотности сложения почвы – буровым методом Качинского [23]. В лаборатории определяли содержание общего углерода по Тюрину, актуальную и обменную кислотности потенциометрически, гидролитическую кислотность по методу Каппена рН-метрически, суммы обменных оснований методом Каппена-Гильковица, содержание подвижных форм фосфора определяли фотоколориметрическим методом с аскорбиновой кислотой, калия – на пламенном фотометре [24]. Исследования биологической активности почв включали ежемесячное определение целлюлозолитической активности (ЦЛА) и «дыхания» почвы. Изучение ЦЛА проводилось аппликационным методом. Срок экспозиции хлопчатобумажной ткани в почвах составил один месяц. «Дыхание» почвы исследовалось адсорбционным методом в модификации Карпачевского [25]. Для систематизации результатов мониторинга ЛОД все основные диагностические параметры (ОДП) были разбиты на четыре группы разной периодичности наблюдений: а) базовые – абсолютно или условно стабильные на период наблюдений; б) относительно стабильные – как правило, могут существенно изменяться за 5–10 лет; в) динамические – существенно меняются от года к году; г) режимные – высоко динамичны в течение одного года (рис. 1)

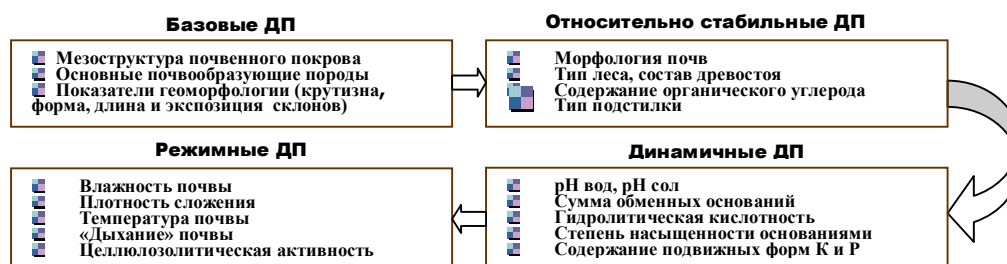


Рис. 1. Блок-схема диагностических параметров (ДП) мониторинга ЛОД

Результаты исследований

1. Анализ базовых параметров почвенно-экологического мониторинга. Мониторинговые наблюдения проводились на трансекте, узловым элементом которой является КЛУ №3, расположенный на выположенной вершине моренного холма (табл. 2).

КЛУ №2 и 1 заложены на сравнительно прямом слабопокатоном коротком склоне моренного холма северо-восточной (СВ) экспозиции. КЛУ №2 заложен в средней части склона крутизной около 3°, КЛУ №1 находится на его подошве, которая переходит во флювиогляциальную террасу. КЛУ №4 и 5 заложены на противоположном пологом склоне повышенной длины юго-западной (ЮЗ) экспозиции: в средней части склона слабоогнутой формы и на его подошве.

Согласно «Классификации и диагностики почв СССР» [25], почвы прямого короткого слабопокатоного склона СВ экспозиции и водораздельной части моренного холма относятся к подтипу дерново-подзолистых почв типа подзолистых почв. Почвы пологого слабоогнутого склона повышенной длины ЮЗ экспозиции – к подтипу дерново-подзолистых поверхностно-оглеенных почв типа подзолистых почв (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Почвенно-геоморфологическая характеристика ключевых участков

КЛУ	Рельеф	Название (подтип и тип) и морфогенетическое строение профиля почвы
1	подошва прямого короткого слабопокатоного СВ склона	Среднедерновая глубокоподзолистая поверхностно-слабоглееватая легкосуглинистая почва (подтип дерново-подзолистых почв типа подзолистых почв): $O_{+2}-A1_6-A1A2_{15}^{**}-A2'_{(g)25}-A2''_{34}-A2'''_{42}-II^{***}A2B_{55}-B_{80}-BC_{120\downarrow}$
2	средняя часть прямого короткого слабопокатоного СВ склона	Среднедерновая глубокоподзолистая легкосуглинистая почва (подтип дерново-подзолистых почв типа подзолистых почв): $O_{+2}-A1_4-A1A2_{15}-A2'_{31}-A2''_{41}-IIA2B_{50}-B1_{(t)(g)86}-B2_{120\downarrow}$
3	вершина моренного холма	Среднедерновая глубокоподзолистая легкосуглинистая почва (подтип дерново-подзолистых почв типа подзолистых почв): $O_{+2}-A1_4-A1A2_{10}-A2'_{(f)30}-A2''_{(f)44}-IIA2'''_{(f)51}-A2B_{62}-B1_{90}-B2_{(t)120\downarrow}$
4	средняя часть пологого слабоогнутого ЮЗ склона повышенной длины	Слабодерновая глубокоподзолистая поверхностно-оглеенная легкосуглинистая почва (подтип дерново-подзолистых поверхностно-оглеенных почв типа подзолистых почв): $O^T_{+4-5}-A1_6-A2A1_{h(g)28}-A2''_{g41}-IIA2'''_{(g)50}-A2B_{(g)58}-B1_{(t)g92}-B2_{(t)120\downarrow}$
5	подошва пологого слабоогнутого ЮЗ склона повышенной длины	Слабодерновая глубокоподзолистая поверхностно-оглеенная легкосуглинистая почва (подтип дерново-подзолистых поверхностно-оглеенных почв типа подзолистых почв): $O^T_{+3-4}-A1_4-A1A2_{h10}-A2_{g27}-A2''_{g36}-IIA2B_{(g)47}-B1_{(t)g80}-B2_{(t)(g)120\downarrow}$

** глубина нижней границы горизонтов минеральной части профиля,

*** начало второго литологического наноса в пределах единого почвенного профиля.

Важно отметить доминирующую роль в мезоструктуре почвенного покрова формы, крутизны и длины склонов. Более влажным и «холодным» оказался пологий слабоогнутый склон повышенной длины, занятый дерново-подзолистыми поверхностно-оглеенными почвами, несмотря на его наиболее «теплую» юго-западную экспозицию. По всей видимости, именно условия поверхностной дренированности определяют структуру почвенного покрова в условиях характерного для ЛОД слабовыраженного мезорельефа.

2. Анализ относительно стабильных параметров мониторинга. Исследованные дерново-подзолистые почвы характеризуются значительным разнообразием.

На вершине моренного холма развит наиболее полно выраженный профиль дерново-палево-подзолистой почвы с маломощной подстилкой модер, хорошо развитым зернисто-комковатым гумусово-аккумулятивным горизонтом и хорошо выраженным элювиально-аккумулятивным горизонтом $A1A2$ плитчато-комковатой структуры. Подзолистые горизонты, как правило, структурированы на 2-3 подгоризонта: $A2'(f)-A2''(f)c-A2'''(f)g$ (рис. 2). Верхний подгоризонт является наиболее выраженным, в среднем подгоризонте отмечаются слабые признаки контактного оглеения и многочисленные железистые конкреции, нижний подгоризонт оглеен. Почвы СВ склона характеризуются маломощными лесными подстилками типа модер, хуже выраженными гумусово-аккумулятивным и элювиально-аккумулятивным горизонтами (большее

количество присыпки), в нижней части формируется глееватый подзолистый горизонт. С условиями увлажнения и характером дерново-подзолистого субпрофиля хорошо согласуется состав и структура лесного фитоценоза (табл. 3).

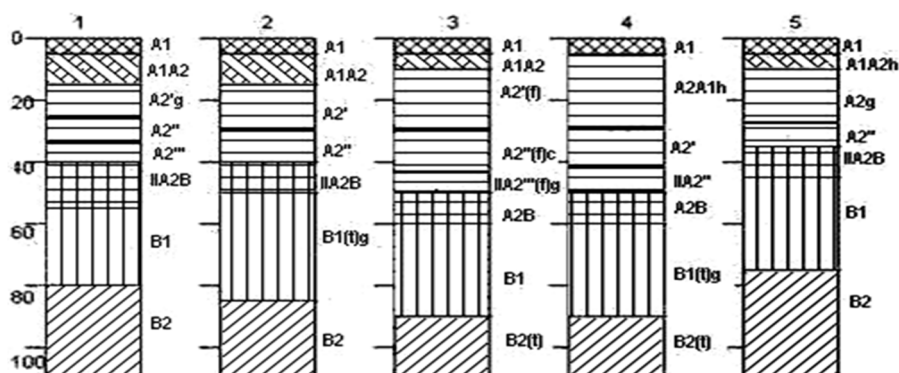


Рис. 2. Схема морфогенетического строения почв 5 ключевых участков ЛОД

Древостои на водоразделе и в средней части СВ склона с наиболее полно выраженными гумусово-аккумулятивными горизонтами характеризуются преобладанием широколиственных пород (дуб, липа, клен), проективным покрытием 45–55% преимуще-

ственно неморального травостоя и обильным широколиственным подростом.

Почвы более влажного ЮЗ склона относятся к подтипу дерново-подзолистых поверхностно-оглеенных почв. Эти почвы характеризуются мощными оторфованными подстилки типа мор, гумусово-аккумулятивный и эллювиально-аккумулятивный горизонты приобретают признаки оглеения и потечно-гумусовых морфонов. В нижней части ЮЗ склона подзолистый горизонт становится глееватым. Соответственно почвам, здесь преобладают частично угнетенные сосняки с широким распространением мертвopoкpoвных и осоковых парцелл, пониженным проективным покрытием неморально-бореального травостоя (30–40%), пониженным и редким участием в подросте широколиственных пород.

Таблица 3

Характеристика лесонасаждений ключевых участков

№ КЛУ - рельеф	Краткая характеристика и тип лесонасаждений
1 – подошва прямого короткого слабопокатого СВ склона	Смешанное сложное по форме насаждение с преобладанием в I ярусе сосны и липы, во II – липы и березы; подлесок представлен рябиной, черемухой, бересклетом и лещиной, отмечается значительный подрост липы; проективное покрытие травостоя 50%, растительная ассоциация будро-щитовниковая. <i>Тип леса: Сосняк будро-щитовниковый</i>
2 – средняя часть прямого короткого слабопокатого СВ склона	Лиственное сложное по форме насаждение с преобладанием кленово-липовых древостоев в I ярусе (при участии сосны), клена, липы и вяза во II ярусе; подлесок представлен черемухой, рябиной, жимолостью и лещиной, отмечается значительный подрост клена, вяза и липы; проективное покрытие травостоя 45-50%, растительная ассоциация осоко-щитовниковая. <i>Тип леса: Липняк сложный осоково-щитовниковый</i>
3 – вершина моренного холма	Лиственное сложное по форме насаждение с преобладанием в I ярусе дубово-липовых древостоев при участии сосны, во II ярусе – клена и липы; подлесок представлен рябиной и каштаном, отмечается обильный подрост клена и липы; проективное покрытие травостоя 50-55%; растительная ассоциация будро-копытеневая. <i>Тип леса: Дубняк с липой сложный будро-копытеневый</i>
4 – средняя часть пологого слабоогнутого ЮЗ склона повышенной длины	Смешанное сложное по форме насаждение с преобладанием в I ярусе сосны и березы, во II – липы и вяза; подлесок представлен черемухой, рябиной, свидиной и лещиной, отмечается значительный подрост липы и березы; проективное покрытие травостоя 40%; растительная ассоциация разнотравно-осоковая. <i>Тип леса: Сосняк разнотравно-осоковый</i>
5 – подошва пологого слабоогнутого ЮЗ склона повышенной длины	Смешанное сложное по форме насаждение с преобладанием в I ярусе сосны, во II ярусе – вяза и клена; подлесок представлен черемухой, рябиной, свидиной и лещиной, отмечается незначительный подрост липы; проективное покрытие травостоя 30%, растительная ассоциация щитовниково-осоковая. <i>Тип леса: Сосняк щитовниково-осоковый</i>

Важно подчеркнуть наличие достоверных различий в содержании органического вещества в почвах участков, которые прослеживаются до горизонта A2 (табл. 4). В почвах исследуемой

трансекты наблюдается закономерное возрастание содержания органического вещества (перегнойного типа) при движении от вершины вниз по пологому слабовогнутому склону ЮЗ экспозиции с дерново-подзолистыми поверхностно-оглеенными почвами (2,81→4,76→7,52).

Почвы на СВ склоне характеризуются существенно более низким содержанием органического С (2,81→1,28→1,45). Мы связываем данный факт с различием в составе фитоценоза.

Таблица 4

Химические показатели дерново-подзолистых почв ЛОД (n=5)

Горизонт	Глубина образца, см	С орг, %		P ₂ O ₅		K ₂ O	
				по Кирсанову, мг/ кг почвы			
		М	σ	М	σ	М	σ
Среднедерновая глубокоподзолистая поверхностно-слабоглееватая почва (КлУ 1)							
A1	0-6	1,45	0,74	20	0,63	93	0,56
A1A2	6-15	1,28	0,66	12	0,17	82	0,60
A2'''	30-40	0,25	0,13	11	0,14	61	0,21
A2B	45-55	0,32	0,16	5	0,56	69	0,58
B	70-80	0,26	0,13	4	0,26	76	0,40
Среднедерновая глубокоподзолистая легкосуглинистая почва (КлУ 2)							
A1	0-4	1,28	0,66	29	0,17	80	0,90
A1A2	4-15	0,51	0,35	13	0,22	62	0,54
A2''	30-40	0,27	0,14	11	0,68	52	0,47
A2B	40-50	0,20	0,10	5	0,36	58	0,41
B1(t)(g)	70-80	0,19	0,15	4	0,14	64	0,26
Среднедерновая глубокоподзолистая легкосуглинистая почва (КлУ 3)							
A1	0-4	2,81	1,10	38	0,33	97	0,54
A1A2	4-10	1,00	0,51	24	0,16	85	0,42
A2''(f)c	30-40	0,31	0,16	19	0,28	67	0,43
A2B	50-60	0,18	0,09	8	0,38	73	0,51
B1	80-90	0,33	0,17	5	0,24	81	0,31
Слабодерновая глубокоподзолистая поверхностно-оглеенная почва (КлУ 4)							
A1	0-6	4,76	0,94	45	0,19	106	0,81
A2A1h(g)	6-28	1,26	0,65	20	0,22	99	0,80
A2''g	30-40	0,28	0,14	13	0,26	78	0,57
A2B(g)	50-60	0,25	0,13	7	0,47	82	0,51
B1(t)g	80-90	0,20	0,16	6	0,16	87	0,31
Слабодерновая глубокоподзолистая поверхностно-оглеенная почва (КлУ 5)							
A1	0-4	7,52	1,90	40	0,13	109	0,75
A1A2h	4-10	2,20	0,98	33	0,29	94	0,83
A2''g	25-35	0,25	0,13	27	0,27	82	0,54
A2B(g)	40-50	0,23	0,15	9	0,14	86	0,42
B1(t)g	70-80	0,26	0,20	4	0,17	90	0,14

Содержание подвижных форм фосфора и калия в исследуемых почвах ЛОД низкое (табл. 4), что в целом характерно для лесных дерново-подзолистых почв [19]. В пределах трансекты содержание P₂O₅ в гумусово-аккумулятивном горизонте варьирует от 20 до 45 мг/кг почвы, K₂O – от 80 до 109 мг/кг почвы.

3. Анализ динамических параметров почвенно-экологического мониторинга. Рассматриваемые почвы характеризуются значительной пространственной изменчивостью и временной динамикой показателей кислотности (табл. 5). Значения кислотности изучаемых почв, как правило, не выходят за пределы интервалов сильнокислых значений актуальной кислотности (pH_{вод} = 4,09...4,97), очень сильнокислых значений обменной кислотности (pH_{сол} = 3,49...4,00) и высоких и очень высоких значений гидролитической кислотности (3,72...15,50).

Актуальная и обменная кислотности характеризуются узкими интервалами профильной изменчивости (в пределах 0,5). Максимальная пространственная дифференциация характерна для актуальной кислотности, где отличия между разными ключевыми участками в пределах одного года могут достигать 0,5...0,6 pH с максимальными значениями кислотности для поверхностно-оглеенных дерново-подзолистых почв. Выявленная временная динамика обменной и гидролитической кислотности незначительна. Отмечаются существенные временные изменения актуальной кислотности: величины pH_{вод} почв в засушливый год на 0,2...0,5 единицы ни-

же, чем в год нормального увлажнения. Установлена значимая обратная корреляция (-0,60) между pH и влажностью в пределах двух сезонов.

Аналитические данные отражают сильную ненасыщенность основаниями рассматриваемых почв (табл. 5). Следует отметить, что чем более дренированный участок, тем выше участие широколиственных пород в составе древесного растительного покрова и неморальных видов в напочвенном покрове – тем выше содержание в почве оснований: подошва слабоогнутого ЮЗ склона → средняя часть слабоогнутого ЮЗ склона → подошва слабопокатого СВ склона → вершина моренного холма → средняя часть слабопокатого СВ склона.

Таблица 5

Физико-химические показатели дерново-подзолистых почв ЛОД (n=4-6)

Почва/КЛУ	Глубина, см	pH вод				pH сол				V, %	
		2006		2007		2006		2007		2006	2007
		М	σ	М	σ	М	σ	М	σ	М	М
Среднедерновая глубокоподзо- листая поверх- ностно-слабо- глееватая/ КЛУ1	0-6	4,87	0,13	4,68	0,21	3,81	0,13	3,87	0,41	33,0	32,0
	6-15	4,91	0,17	4,78	0,13	3,78	0,17	3,83	0,31	30,1	30,1
	30-40	4,92	0,22	4,72	0,10	3,81	0,14	3,91	0,23	34,5	32,1
	45-55	4,97	0,26	4,66	0,16	3,68	0,16	3,72	0,54	42,5	41,5
	70-80	4,81	0,23	4,70	0,15	3,58	0,17	3,62	0,36	55,2	56,4
Среднедерновая глубокоподзо- листая /КЛУ 2	0-4	4,69	0,18	4,35	0,13	3,91	0,23	3,81	0,22	37,9	36,0
	4-15	4,64	0,28	4,27	0,26	3,85	0,22	3,75	0,20	40,5	39,3
	30-40	4,70	0,18	4,45	0,13	3,89	0,25	3,85	0,25	39,1	39,9
	40-50	4,79	0,67	4,50	0,12	3,76	0,19	3,79	0,42	41,2	38,2
	70-80	4,81	0,14	4,33	0,29	3,61	0,20	3,67	0,17	56,7	53,8
Среднедерновая глубокоподзо- листая /КЛУ 3	0-4	4,58	0,38	4,13	0,17	3,68	0,19	3,77	0,19	33,8	33,6
	4-10	4,61	0,20	4,29	0,37	3,62	0,17	3,85	0,29	31,8	31,9
	30-40	4,65	0,54	4,32	0,22	3,75	0,15	4,93	0,19	29,9	29,8
	40-50	4,76	0,23	4,40	0,15	3,68	0,17	4,00	0,14	40,0	39,5
	80-90	4,63	0,13	4,38	0,28	3,63	0,13	3,91	0,46	56,0	58,3
Слабодерновая глубокоподзо- листая поверхност- но-оглеенная /КЛУ4	0-6	4,55	0,14	4,08	0,13	3,66	0,14	3,70	0,34	28,3	26,6
	6-28	4,58	0,27	4,09	0,19	3,62	0,19	3,61	0,31	26,5	25,7
	30-40	4,61	0,16	4,19	0,22	3,68	0,14	3,73	0,29	30,5	29,6
	50-60	4,53	0,33	4,25	0,11	3,58	0,12	3,65	0,23	31,4	29,0
	80-90	4,55	0,24	4,30	0,15	3,50	0,13	3,55	0,15	57,3	58,7
Слабодерновая глубокоподзо- листая поверхност- но-оглеенная /КЛУ5	0-4	4,53	0,14	4,16	0,26	3,63	0,34	3,62	0,23	20,5	20,0
	4-10	4,65	0,12	4,14	0,24	3,60	0,09	3,58	0,13	21,9	21,3
	30-40	4,67	0,38	4,29	0,15	3,61	0,13	3,67	0,36	22,5	22,1
	40-50	4,59	0,66	4,33	0,13	3,50	0,09	3,53	0,33	31,6	33,0
	70-80	4,65	0,12	4,44	0,14	3,49	0,13	3,49	0,29	43,8	43,8

4. Анализ режимных параметров почвенно-экологического мониторинга. Изучение пространственной изменчивости и сезонной динамики параметров, характеризующих почвенные режимы, проводилось с целью определения экологических особенностей текущего состояния почв. Годы наблюдений по своим погодным условиям существенно отличались друг от друга. Количество осадков с апреля по октябрь 2006 года (441 мм) близко к среднемуголетнему показателю за тот же период (440 мм), и их распределение было относительно равномерным. Количество осадков, выпавших за период наблюдений 2007 года (май – сентябрь), было на 30% ниже нормы (засушливый год), и распределение их было очень неравномерным.

В вегетацию 2006 года с нормальным характером увлажнения максимальная влажность почвы отмечалась в апреле в результате сквозного промачивания при снеготаянии. В конце июня влажность всей толщи почвы снижается (на 5–20% от массы почвы), достигая минимального значения за период наблюдений. К концу лета влажность почвы постепенно повышается. В засушливый 2007 год влажность почвы всех КЛУ в среднем в 1,5 раза ниже, чем в 2006 году.

Влажность почв на водоразделе характеризуется наиболее высокой динамикой за период наблюдений. В засушливом году отношение максимальных и минимальных значений влажности в слое 0–20 см достигло 5 на фоне пониженного содержания влаги. В верхних гумусово-аккумулятивном и аккумулятивно-элювиальном горизонтах средние значения влажности в 2 раза выше, чем в элювиальной части профиля. На глубине 40–60 см (горизонты А2В и В) со-

держание влаги в почве существенно снижается и отмечается более стабильное ее поведение с меньшей амплитудой колебаний. На подошве склона влажность почвы в 1,2...1,5 раза выше влажности почвы на водоразделе. Наиболее и устойчиво влажными на протяжении всего периода наблюдений являются дерново-подзолистые поверхностно-оглеенные почвы сосняков на ЮЗ склоне. Содержание влаги в слое 0–20 см, как правило, не опускается ниже 35% для года нормального увлажнения и 20% для засушливого для склонового участка и 43% и 25% для нормального и засушливого года соответственно на подошве. Наибольшие различия с другими участками отмечаются в условиях засушливого года.

Интегральной характеристикой водного режима почв является влагозапас их верхних горизонтов (табл. 6). Почвы исследуемых участков характеризуются значительной пространственной изменчивостью весеннего влагозапаса: на подошве исследуемых склонов он устойчиво в 1,4 – 1,5 раза выше, чем на вершине холма. В год нормального увлажнения разница постепенно снижается до 1,25 к концу летнего периода, в случае засушливого года – она наоборот резко возрастает и в течение всего летнего и раннеосеннего периодов выдерживается в пределах 2 – 2,5. Важно отметить большое значение на первый взгляд не очень значительной разницы в крутизне, продольной форме и длине исследуемых склонов ЮЗ и СВ экспозиции: влагозапас между их аналогичными элементами, как правило, варьирует от 10 до 30 мм в верхнем 50 см слое.

Таблица 6

Динамика запасов влаги в 0–50 см слое почвы КЛУ ЛЮД (мм)

КЛУ	2006				2007				
	V	VI	VII	VIII	V	VI	VII	VIII	IX
1	154,6	160,4	151,5	159,4	146,1	87,9	86,5	70,0	107,2
2	128,1	118,2	135,3	134,1	131,1	64,8	68,4	62,3	71,5
3	114,9	144,2	132,6	128,6	108,3	59,2	43,9	42,7	42,9
4	146,8	139,8	136,9	134,9	166,5	88,8	78,4	86,1	118,9
5	163,6	177,3	178,8	165,6	155,4	110,7	105,5	99,8	102,9

Сезонные различия плотности почвы сохраняются до глубины 20–30 см. В год нормального увлажнения на всех КЛУ с мая по июль отмечается общая тенденция к разуплотнению – в среднем на 10%. В августе наблюдается

уплотнение на 3–4%, по сравнению с июлем. В более засушливый год от мая к июню на всех КЛУ плотность увеличилась, а к сентябрю наблюдается незначительное ее снижение. Почва в более засушливый год оказалась существенно плотнее (на 0,1–0,2 г/см³). Мы связываем временные изменения плотности почвы с сезонным режимом влажности ($r_{2006} = -0,43$, $r_{2007} = -0,53$) и активным развитием корневых систем растений летом.

Почвы КЛУ характеризуются сравнительно высокой биологической активностью. Максимумы выделения CO₂ в год нормального увлажнения приходятся на июнь–июль. В апреле и октябре отмечается резкое снижение интенсивности «дыхания» почвы. В целом, в год нормального увлажнения наиболее активное «дыхание» почвы отмечается в сосняках будрощитовниковом (КЛУ №1), щитовниково-осоковом (КЛУ №5) и липняке осоково-щитовниковом (КЛУ №2), которые характеризуются наиболее благоприятным сочетанием теплового и водного режимов. В засушливый год максимальная эмиссия CO₂ отмечается в мае, далее в течение сезона она снижается и достигает в августе – сентябре минимальных значений.

Выявленная сезонная динамика выделения CO₂ во многом, определяется изменениями температуры и влажности почвы (рис. 3). В условиях года нормального увлажнения лимитирующим фактором является температура, в условиях засушливого года лимитирует влажность почвы. С интенсивностью «дыхания» почв хорошо коррелирует целлюлозолитическая активность (ЦЛА), коэффициент корреляции между ними составляет 0,89. Наибольшей активностью обладают гумусово-аккумулятивные и аккумулятивно-элювиальные горизонты. Наиболее высокие показатели ЦЛА выявлены в сосняках разнотравноосоковом (КЛУ №4) и щитовниково-осоковом (КЛУ №5) (до 27,8% в горизонте A1). В то же время, дерново-подзолистые почвы неморальных липняка и дубняка с липой (участки 2 и 3) характеризуются наибольшей устойчивостью ЦЛА за период наблюдений (варьирование около 25%). В условиях недостаточного увлажнения в 2007 году интенсивность ЦЛА ниже на всех исследуемых участках,

что, по-видимому, связано с дефицитом влаги в почве для целлюлозоразлагающих микроорганизмов.

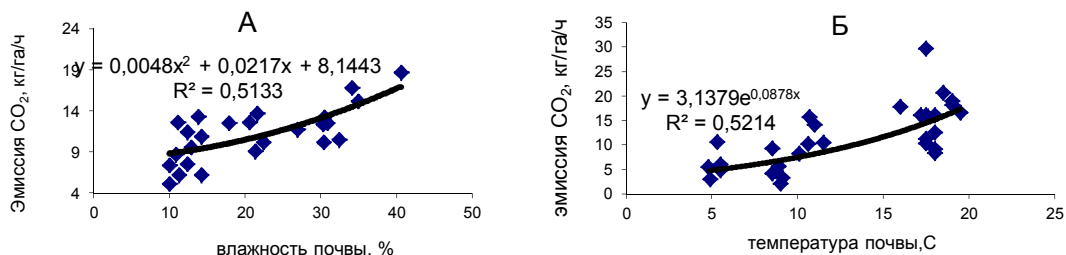


Рис. 3. Зависимость эмиссии CO_2 с почвы от влажности почвы в засушливый год (А) и от температуры почвы в год нормального увлажнения (Б)

Выводы.

1. Сравнительно-географический анализ базовых параметров мониторинга показал их значительную пространственную дифференциацию даже в условиях слабовыраженного рельефа Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА. В условиях переходного типа ландшафта (между природными зонами тайги и широколиственных лесов) даже незначительные изменения крутизны склона (на $1-2^\circ$), его формы (с почти ровного до слабоогнутого) и длины (с 200 до 400-500 м) приводят к качественным изменениям доминирующих дерново-подзолистых почв, режимов их функционирования и типа леса (неморальные липняки и неморально-бореальные сосняки).

2. Относительно стабильный показатель содержания органического углерода в почвах ЛОД характеризуется существенной пространственной изменчивостью, в значительной мере обусловленной особенностями рельефа и растительности. На пологом слабоогнутом склоне ЮЗ экспозиции значительной длины отмечается последовательное нарастание содержания перегнойного органического вещества с максимумом у подошвы склона ($2,81 \rightarrow 4,76 \rightarrow 7,52$). Почвы прямого короткого слабопокатого склона СВ экспозиции отличаются модер типом подстилки и постепенным снижением содержания $\text{C}_{\text{орг}}$ вниз по склону ($2,81 \rightarrow 1,28 \rightarrow 1,45$) с одновременным обеднением породного состава древостоя и подроста.

3. Рассматриваемые почвы характеризуются значительной пространственно-временной изменчивостью показателей кислотности. Наибольшая дифференциация характерна для актуальной кислотности, где отличия разных КлУ в пределах одного года могут достигать $0,5-0,6$ рН с максимумом кислотности для поверхностно-оглеенных дерново-подзолистых почв. Значения актуальной кислотности почв (величины $\text{pH}_{\text{вод}}$) в засушливый год были на $0,2-0,5$ единицы ниже, чем в год нормального увлажнения.

4. Режимные наблюдения показали высокую пространственно-временную дифференциацию влажности почв. Наиболее высоким и устойчивым влагозапасом характеризуются почвы ЮЗ склона. Минимальный доступный влагозапас характерен для почв вершины холма и средней части СВ склона. При малых уклонах (до 3°) форма, крутизна и длина склона оказывают более существенное влияние на почвенный микроклимат, чем его экспозиция.

5. Почвы исследованных ключевых участков характеризуются сравнительно высокой биологической активностью. Сезонная динамика выделения CO_2 во многом определяется изменениями температуры и влажности почвы. В условиях года нормального увлажнения лимитирующим фактором является температура ($R^2 = 0,52$), в условиях засушливого года лимитирует влажность почвы ($R^2 = 0,51$).

6. Наличие количественных зависимостей и логически объяснимых взаимосвязей между относительно стабильными, динамичными и режимными параметрами мониторинга позволяет проводить обоснованную экстраполяцию результатов «точечных» режимных наблюдений на аналогичные элементы ландшафта и прогнозировать изменения почв и экосистем.

Список литературы

1. Строганова, М. Н. Почвы города Москвы: тревоги и надежды / М. Н. Строганова, М. Н. Агаркова, А. Д. Мягкова // Сб. Почва, город, экология. – М., 1997. – С.181-265.
2. Duchaufour, P. Handbook of pedology. A. A. Balkema. 1998. – 264 p.
3. Агроэкология. Учебник / под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекевича. – М.: Колос, 2000. – 535 с.
4. The Transactions of the 18 World Congress of Soil Science. – Philadelphia, 2006.
5. Васнев, И. И. Почвенные сукцессии / И. И. Васнев. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 400 с.
6. ФЗ РФ «Об особо охраняемых природных территориях». – М., 1995.
7. Экология большого города. Проблема содержания зеленых насаждений в условиях Москвы. Альманах / Под редакцией Х. Г. Якубова. – М.: Группа СТАГИРИТ, 2001. – Выпуск 5. – 168 с.
8. Соловьев, С. Состав почв Лесной опытной дачи / С. Соловьев. – ТСХА, 1889. – Вып. 11.
9. Арбузов, И. Почвы Лесной опытной дачи ТСХА / И. Арбузов. – М., 1936.
10. Гречин, И. П. Почвы Лесной опытной дачи ТСХА / И. П. Гречин // Изв. ТСХА. – Вып. 1(11). – 1957. – С. 118-127.
11. Тимофеев, В. П. Природа и насаждения Лесной опытной дачи ТСХА за 100 лет / В. П. Тимофеев. – М.: Изд-во «Лесная промышленность», 1965. – 168 с.
12. Поляков, А. Н. 130 лет Лесной опытной даче ТСХА / А. Н. Поляков. – М.: Изд-во ВНИИЦ-лесресурс, 1993.
13. Наумов, В. Д. Структура почвенного покрова Лесной опытной дачи ТСХА / В. Д. Наумов, Н. П. Сорокина, В. М. Градусов // Пространственно-временная организации почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты: международная научная конференция. – СПб, 2007. – С. 87-88.
14. Васнев, И. И. Структурно-функциональная организация почвенно-экологического мониторинга Лесной опытной дачи РГАУ – МСХА / И. И. Васнев, В. Д. Наумов, Т. В. Раскатова // Изв. Тимирязев. с.-х.акад., 2007. – N 4. – С. 29-44.
15. Добровольский, Г. В. Научные основы почвенного мониторинга / Г. В. Добровольский, Л. А. Гришина // Комплексный глобальный мониторинг состояния биосферы. – М., 1986. – Т.1. – С. 79-86.
16. Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв: Учеб. пособие / Под. ред. Д. С. Орлова, В. Д. Васильевской. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 272 с.
17. Handbook of soil science (M. E. Sumner ed.). CRC Press. 2000.
18. Васнев, И. И. Базовый агроэкологический мониторинг в ЦЧЗ / И. И. Васнев, А. П. Щербаков // Информационно-справочные системы по оптимизации землепользования в условиях ЦЧЗ: Под. ред. И. И. Васневой, Г. Н. Черкасова. – Курск, 2002. – С.103-110.
19. Карпачевский, Л. О. Экологическое почвоведение: Учебник / Л. О. Карпачевский. – М.: ГЕОС, 2005. – 334 с.
20. Наумов, В. Д. Почвенно-геоморфологическая характеристика территории Лесной опытной дачи МСХА / В. Д. Наумов, П. И. Гречин, А. Н. Поляков // Изв. ТСХА, 2001. – №. 1. – С. 83-101.
21. Розанов, Б. Г. Морфология почв / Б. Г. Розанов. – М.: МГУ, 2004. – 320 с.
22. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 223 с.
23. Теория и методы физики почв (под ред. Е. В. Шеина и Л. О. Карпачевского). – М.: Гриф и К., 2007. – 616 с.
24. Теория и практика химического анализа почв (под ред. Л.Ф. Воробьевой). – М.: ГЕОС. 2006. – 400 с.
25. Карпачевский, Л. О. Лес и лесные почвы / Л. О. Карпачевский. – 1981. – 261 с.

Статья поступила в редакцию 30.04.09.

I. I. Vasenev, T. V. Raskatova

**SPATIAL-TEMPORAL VARIABILITY OF THE MAIN CHARACTERISTICS
OF BACKGROUND ECOLOGICAL MONITORING OF SOD-PODZOLIC
SOILS IN THE PILOT FOREST RUSSIAN STATE AGRICULTURAL
UNIVERSITY – MOSCOW AGRICULTURAL ACADEMY**

This paper presents the brief description of results of complex ecological monitoring of forest sod-podzolic soils at the protected preserve area within Moscow megapolis. Special attention is concentrated on the established regularities of soil functioning spatial variability within principal elements of mesorelief and its temporal dynamics during main vegetation periods of two contrast years.

Key words: ecological monitoring, soils, forest planting, spatial distributing.

ВАСЕНЕВ Иван Иванович – доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой экологии РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. Научные интересы – экология, почвоведение, агроэкология, эволюция и экология почв, оптимизация землепользования. Автор более 230 публикаций. E-mail: vasenev@timacad.ru.

РАСКАТОВА Татьяна Владимировна – аспирант кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. Научные интересы – экологический мониторинг, экология лесных почв, агроэкология. Автор восьми публикаций. E-mail: vasenev@timacad.ru.

UDC 630*652

D. Karamanolis

EVALUATION OF FOREST ECOSYSTEM FOR WATER AND WOOD PRODUCTION

The aim of this work was to study the process of producing wood and water from the University Forest of Taxiarchi Chalkidikis with the help of multiple decision support, part of which was the pairwise comparison method and to find which forest units are valuable for each of these processes. Based on this aim the University Forest was divided into 15 zones of four forest units. Afterwards, the criteria factors of influencing the process of each production were named and their relative weights were estimated with the help of this method. These relative weights show the importance of the factors for each production. For wood production, the rank importance is land (0.550), aspect (0.180), relief (0.155), elevation (0.078), forest species (0.037), forest production precipitation (0.601), vegetation (0.224), geological substratum (0.116) and relief (0.059).

Key words: wood and water production, weight, analytic hierarchy process AHP, multiple decision support.

Introduction. It is generally accepted that forest is one of the most significant sources of life and one of the most important sources of energy. Therefore, its management needs special care. What will the forests be like in the future? What kinds of products, services and experiences will they supply? What kind of activities will be executed in the future? These are the questions which were studied by the specialists, foresters and environmentalists and led to the improvement of the section of forest management. Forest management can be defined as a medium and macro-term forest plan at the level of one or more forest utilizations. This forest plan which takes into account ecological, economical, operational and social views ensures the benefit of forest [1]. Forest management is aimed at maintaining the sustainability of forest exploitations.

Natural ecosystems are in the center of interest, on the one hand, because much more products and services are required from them, and on the other hand, because the sensitivity of the public opinion related to the protection of the environment has significantly increased. This situation needs the development of one successful structure of management of those ecosystems, which in order to be fulfilled demand sufficient and reliable information [2]. All these lead to the complex value of the use of forest and to the multiple purposes of forestry. This multiple operation describes the modern forestry [1]. The purpose of this work is to study two forest uses, the wood production and the water production at the borders of the University Forest of Taxiarchy of Chalkidiki. These two procedures of production will be surveyed at the forest sections of this area with the help of the method of multiple decision support, in order to find the rank of importance based on their weights related to these procedures of productions and to find which production is superior against the other on those sections in the forest. The next step will be to map these weights and also the areas where one production is better than the other using the ArcGIS program.

Area of interest. University forest of Taxiarchi of Chalkidiki geographically situated on the south and southwest aspects of the mountain Cholomonta in prefecture of Chalkidiki. Its area is 58.62 km² where the 3.45 is communal area which is not under the responsibility of the forest inspection. The climate of the area can be described as terrestrial Mediterranean with short, warm and dry summers and moderate winters. According to Koppen, it belongs to the subtype of Csb [3]. The larger percentage of the area is covered with limestone and mica schist. The grounds are oxide, and its depth varies between 5 and 100 cm. The dominating forest species are *Quercus conferta* and *Quercus dalechampii* [4].

Materials and methods. The data for the study of the productive procedures of wood and water which were used refer to the stands, the elevation, the slope, the basic rock, the constitution and the depth of the ground, as well as the percentage of canopy. This data was also used for the management plan of the area during the period 2002-2011, the current increase of the growing stock per stand. Moreover, the map of the forest sections of the University Forest was used, which is divided into 15 zones of four sections. The study of the production procedures creates a problem of multiple decision support. At the beginning, the criteria-factors which influence the production of wood and water were determined. The next step is to account their relative weights and the following step is to find out the weights of zone, in order to discover their significance

Multiple criteria decision support.

General. The problems of multiple criteria decision support involve a set of alternative solutions which are estimated based on conflicted and disproportional criteria. Criterion is a general term which consists both the term of characteristic/feature as the term of goal. Characteristic is a countable quantity or quality of a geographical integrity or the relationship between the geographical integrities. The goal is the appearance of the desired situation of the system which is under control [5]. A problem of estimation of multiple criteria can be faced through the following steps: a) Definition and composition of the problem, b) Generation of the alternatives, c) Choice of a set of evaluation criteria, d) Identification of the preference of the decision maker e) Choice of total preference [6].

Multiple criteria decision support in forest management.

For sustainable management of forest due to the current demands, the correct plan and the organization of actions which will be applied to the forest are necessary. In order to make this possible, the evaluation and the estimation of a suitable management way is necessary. One way to implement this is via Multicriteria Decision Aid (MCDA) [6].

Methods of estimating criteria. The methods of estimating the criteria can be categorized as follows: ranking, rating, pairwise comparison and trade-off analysis [5]. In this paper, the third method was used for estimating the weights. The pairwise comparison method was developed by Saaty in 1980 in the frame of Analytic Hierarchy Process (AHP) [7–8]. This method includes comparisons between pairs in order to formulate a ratio table and employ an underlying scale with values from 1 to 9 to rate the relative preferences between two criteria or two objects.

Pairwise comparison method. The pairwise comparison method involves the following: a) creation of pairwise comparison matrix, b) evaluation of criteria weights, c) examination of consistence ratio [5].

Criteria weights are accounted for each of the factors, with the next step being to account the weight for every alternative solution for these factors [8].

Results. Two forest uses were studied in the University Forest of Taxiarchi, namely the wood production and the water production. For this purpose, the forest sections were divided into fifteen (15) zones of four sections each and some general characteristics were accounted and estimated for these. In order to find out these characteristics, the description sheets per stand and the details from the management plan of the period 2002–2011 were used, including the elevation, the slope, the aspect, the forest species, average increase and the canopy. The separation of the zones was done because consistency check can be done for a maximum of fifteen criteria since the Ratio Index (RI) comes from tables with this specific number of criteria. Wood production in the forest depends on several criteria factors such as the ground, the aspect, the relief and the forest species [9–10]. The pairwise comparison method was applied and table 1. was formed.

Table 1
Pairwise comparison of the factors which influence wood production

Criterion	Ground	Elevation	Aspect	Relief	For. species
Ground	1	8	5	5	8
Elevation	0.125	1	0.333	0.25	4
Aspect	0.2	3	1	2	5
Relief	0.2	4	0.5	1	5
For. species	0.125	0.25	0.2	0.2	1

Computation of the criterion weights.

This step involves the following operations: (a) sum the values in each column of the pairwise comparison matrix; (b) divide each element in the matrix by its column sum (the resulting matrix is referred to as the normalized pairwise comparison matrix), and (c) compute the average of the elements in each

row of the normalized matrix, that is, divide the sum of normalized scores for each row by 5 (the number of criteria). These averages provide an estimate of the relative weights of the criteria being compared (Table 2 operations a,b,c) Using this method, the weights are interpreted as the average of all possible ways of comparing the criteria. As we can see, the criterion weights are **0.55**, **0.077**, **0.18**, **0.156** and **0.037** for the ground, elevation, aspect, relief and forest species respectively.

Estimation of the consistency ratio. In this step we determine if our comparisons are consistent. It involves the following operations: (a) determine the weighted sum vector multiplying the weight for the first criterion (ground) times the first column of the original pairwise comparison matrix, then multiply the second weight (elevation) times the second column, the third criterion times the third column of the original matrix, finally add these values over the rows; and (b) determine the consistency vector by dividing the weighted sum vector by the criterion weights determined previously (see table 3).

Table 2

Determining the Relative Criterion Weights.

Operation	Criterion	Ground	Elevation	Aspect	Relief	For. species
a	Ground	1	8	5	5	8
	Elevation	0.125	1	0.333	0.25	4
	Aspect	0.2	3	1	2	5
	Relief	0.2	4	0.5	1	5
	For. species	0.125	0.25	0.2	0.2	1
	Sum	1.65	16.25	7.033	8.45	23
b	Ground	0.60	0.49	0.71	0.59	0.35
	Elevation	0.075	0.062	0.047	0.030	0.17
	Aspect	0.12	0.18	0.14	0.24	0.22
	Relief	0.12	0.25	0.071	0.12	0.22
	For. species	0.075	0.015	0.028	0.024	0.04
	Sum	1	1	1	1	1.00
c		Weight				
	1	2				
	Ground	$(0.60 + 0.49 + 0.710 + 0.590 + 0.350) / 5 = \mathbf{0.55}$				
	Elevation	$(0.075 + 0.062 + 0.047 + 0.03 + 0.170) / 5 = \mathbf{0.077}$				
	Aspect	$(0.120 + 0.180 + 0.140 + 0.240 + 0.220) / 5 = \mathbf{0.180}$				
	Relief	$(0.120 + 0.250 + 0.071 + 0.120 + 0.220) / 5 = \mathbf{0.156}$				
	For. Species	$(0.075 + 0.015 + 0.028 + 0.024 + 0.04) / 5 = \mathbf{0.037}$				
	Sum	1.00				

Table 3

Determining the Consistency Ratio

Criterion	Operation (a)	Operation (b)
Ground	$(0.55)*(1) + (0.077)*(8) + (0.180)*(5) + (0.156)*(5) + (0.037)*(8) = 3.15$	$3.15/0.55 = \mathbf{5.73}$
Elevation	$(0.55)*(0.125) + (0.077)*(1) + (0.180)*(0.333) + (0.156)*(0.25) + (0.037)*(4) = 0.39$	$0.39/0.077 = \mathbf{5.06}$
Aspect	$(0.55)*(0.2) + (0.077)*(3) + (0.180)*(1) + (0.156)*(2) + (0.037)*(5) = 1.02$	$1.02/0.180 = \mathbf{5.67}$
Relief	$(0.55)*(0.2) + (0.077)*(4) + (0.180)*(0.5) + (0.156)*(1) + (0.037)*(5) = 0.67$	$0.67/0.156 = \mathbf{4.29}$
For. Species	$(0.55)*(0.125) + (0.077)*(0.25) + (0.180)*(0.2) + (0.156)*(0.2) + (0.037)*(1) = 0.19$	$0.19/0.037 = \mathbf{5.13}$

Now that we have calculated the consistency vector, we need to compute values for two more terms, lambda (λ) (eigen value) and the consistency index (CI). The value for **lambda** is simply the average value of the consistency vector:

$$\lambda = (5.73 + 5.06 + 5.67 + 4.29 + 5.13) / 5 = 5.176$$

The calculation of CI is based on the observation that λ is always greater than or equal to the number of criteria under consideration (**n**) for positive, reciprocal matrixes, and $\lambda = n$ if the pairwise comparison matrix is a consistent matrix. Accordingly, $\lambda - n$ can be considered as a measure of the degree of inconsistency. This measure can be normalized as follows:

$$CI = (\lambda - n) / (n - 1) = (5.176 - 5) / (5 - 1) = 0.044$$

The CI term, referred to as the **consistency index**, provides a measure of departure from consistency. Further, we can calculate the **consistency ratio** (CR), which is defined as follows:

$$CR = CI / RI = 0.044 / 1.12 = 0.039$$

Where RI is the random index, the consistency index of a randomly generated pairwise comparison matrix. This index is given and depends on the number of elements being compared. The consistency ratio (CR) is designed in such a way that if $CR < 0.10$, the ratio indicates a reasonable level of consistency in the pairwise comparisons; if, however, $CR > 0.10$, the values of the ratio are indicative of inconsistent judgments. In such cases one should reconsider and revise the original values in the pairwise comparison matrix. In case of our problem, the estimations which were done had a suitable consistency ratio as $CR = 0.039 < 0.10$, a precondition which must be fulfilled.

In the same way, the method was applied for the case of water production. Water production in the forest depends on four factors, namely the climate-precipitation, the relief, the ecological substratum and the vegetation [11],[12]. Precipitation involves the destructive factor on the geological substratum, whereas vegetation (where it exists), acts protectively. Relief has a compromise regulative influence. The geological substratum of the watersheds is represented by the rocks they consist of (Stefanidis, 1991). In table 2, the comparison of the factors which influence water production is illustrated.

Table 4

Pair wise comparison of the factors which influence water production

Factors	Precipitation	Vegetation	Geol. substratum	Relief
Precipitation	1	4	6	7
Vegetation	0.25	1	3	4
Geol. substratum	0.167	0.333	1	3
Relief	0.143	0.25	0.333	1

From Table 4, the weights of the criteria were derived with their values being : precipitation 0.601, vegetation : 0.224 geological substratum : 0.116 and relief : 0.059. The estimations which were done had a suitable consistency ratio as

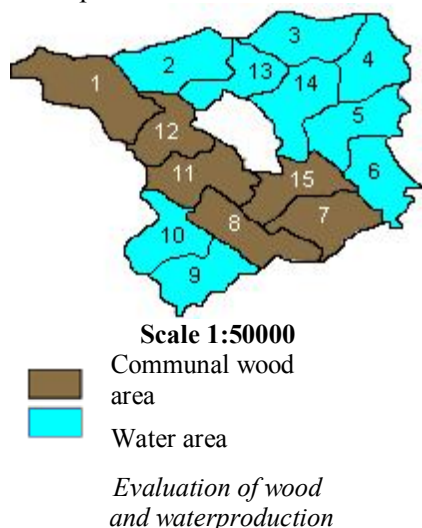
$CR = 0.065 < 0.10$, a precondition which must be fulfilled.

Afterwards, the weights of zones were accounted for each of the factors influencing the production of wood with the help of the pairwise comparison method. At the end, a weight was accounted for each zone for the wood production. For these purposes, the weight criteria of wood production were multiplied by the corresponding weights of zones for each case which resulted from the pairwise comparison and the resulting products were added. (the greater the weight, the greater the importance). Later the account of the criteria weights influencing the water production, the weights of zones were accounted for each of those factors. At the end a weight for each zone was found, which described the procedure of water production. Those weights reveal the rank of importance in this form of production.

Discussion. The pairwise comparison method reveals the rank of importance of the zones for each productive procedure. The values of zone weights for the wood production ranged from 0.031 to 0.138. The value 0.031 belongs to zone 9, followed by zone 6 with the value 0.035, next zone 10 with 0.040, zone 14 with 0.044, zone 5 with 0.045, zone 7 with 0.048, zone 3 and 8 with 0.053, zone 13 with 0.071, zone 4 with 0.072, zone 2 with 0.077, zone 15 with 0.086, zone 11 with 0.095, zone 12 with 0.112 and, finally, zone 1 with value weight equal to 0.138.

On the other hand, the ranked importance for water production is as follows: zone 7 (0.034), zone 6 (0.036) zone 9 (0.038), zone 15 (0.04), zone 8 (0.05), zone 5 (0.051), zone 10 (0.055), zone 14 (0.059), zones 1 and 11 (0.064), zone 12 (0.092), zone 2 (0.094), zone 14 (0.1), zone 4 (0.101) and finally zone 3 (0.122). From weight values, it is obvious that zone weights don't differ so much between wood and water production. Another point is that for the same production procedure, the weights don't have a great range in both cases; particularly, two of the zones (3 and 8 for wood production, and 1 and 11 for water production) have the same value. The reason for this may be that the area of interest is small and in this occasion both the factors influencing wood production as the factors influencing water production can not change a lot. Another reason for this is that pairwise comparison method is a subjective method to a great extend.

These weights can be mapped (Fig.) in order to show the participation of zones in the wood and water production. This can be done by the program ArcGIS using zones and either wood weights or water weights as vectors. Moreover, if the weights of wood and water production were compared in the same zone, the conclusion derived is that some weights can be higher than the others and this means that this zone is more important for water or wood production depending on which weight is higher. This logic thought can help to find which zones are more important for wood production (these zones being 1, 7, 8, 11, 12 and 15) and which zones are more important for water production (these zones being 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 13 and 14). These results can be mapped to show the areas which favor wood production and which favor water production. 32.62% of total area is more advantageous in wood production and the 54.49% is more advantageous in water production.



Conclusions. Multiple criteria decision support is necessary for forest management. The pairwise comparison method which was used here for the estimation of weights is very significant, because it takes into account all the factors which influence the problem under consideration and gives an overall value (weight) for their description. These values allow an easier comparison between the factors and help to resolve the complexity of forest ecosystems. The factors which influence the production of wood (in rank of importance) are land, aspect, relief, elevation and (finally) forest species. On the other hand, water production is influenced in rank of importance by precipitation, vegetation, geological substratum and relief. Zones 1, 7, 8, 11, 12 and 15 have a greater value weight for wood production, whereas zones 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 13, and 14 have greater value for water production. The zones which promote wood production occupy the 39.62% of the overall area of University

Forest of Taxiarchy and the zones which have bigger participation in water production occupy 54.49% of the overall area.

References

1. Karamanolis, D. Forest Management II. Methods and Techniques for the Management of Forests and Natural Environment / D. Karamanolis, M. Kateris // Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, – 1998. – P.251
2. Karteris, A. M. Remote Sensing of Environment / A. M. Karteris // AUTH. University Press, 2004 – P. 276.
3. Filippidis, A. E. Geographical Information Systems and Quantitative Methods In Evaluation of Water (The case of University Forest of Taxiarchi, Chalkidiki) / A. E. Filippidis // Dissertation. Thessaloniki. – 2001. – P.312.
4. Fund of Management and Administration of University Forest. Administration of Forest Taxiarchi- Brastamon. /Forest Plan of University Taxiarchi- Brastamon 2002-2011, Taxiarchi, 2001. – P. 102.
5. Malczewski, J. GIS and Multicriteria Decision Analysis / J. Malczewski // Department of Geography University of Western Ontario, John Wiley & Sons, Inc., New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto, 1990. – P. 392.
6. Munda, G. Qualitative multicriteria evaluation for environmental management / G. Munda, P. Nijkamp, P. Riedveld // Ecological Economics. – 10. –1994. – P. 97-112.
7. Saaty, L. T. The Analytic Hierarchy Process / L. T. Saaty // New York: McGraw-Hill, 1980.
8. Saaty, L. T. Decision Making with Dependence and Feedback, The Analytic Network Process / L. T. Saaty // RWS Publications, – P. 376.
9. Papamichos, Th. N. Forest Ground. Formation, Attributes, Behavior. Section B' (revised) / Th. N. Paramichos // Aristotle University of Thessaloniki Publications. – 1996. – P. 414.
10. Ntafis, A. S. Forest Ecology / A. S. Ntafis // Giachouli-Giapouli press, 1986. – P. 443.
11. Kotoulas, D. Die wildbache Suddeutschlands und Griechenlands. Teil 1. Bericht. Nr. 25. – Munchen, 1972.
12. Stefanidis, St. P. Natural Environment, Forest Fires, Hydrologic Consequences. Announcement, Number 21 / St. P. Stefanidis // Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Forestry and Natural Environment, Thessaloniki, 1991.

Статья поступила в редакцию 18.05.09.

Д. Караманолис

**ОЦЕНКА ВОДООХРАННОЙ И БИОПРОДУКТИВНОЙ ФУНКЦИИ
ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ**

Проведена оценка водоохранной функции и производства древесины университетскими лесами Таксиархи Халкидики с использованием множественного подхода по принятию решений. В связи с этим университетский лес был разделен на 15 зон, для которых определены критерии и степень их влияния на эти процессы. Для производства древесины важным критерием являются земля, сторона света, рельеф, высота местности, древесная порода.

Ключевые слова: водное производство древесины, вес, аналитический процесс иерархии, множественный подход к принятию решений.

КАРАМАНОЛИС Димитриус – профессор, Университет Аристотеля в Салониках, факультет лесного хозяйства и окружающей среды, лаборатория лесопользования и дистанционного зондирования. E-mail: karam@for.auth.gr.

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

Резолюция

Международной конференции «Международное сотрудничество в лесном секторе: баланс образования, науки и производства»

г. Йошкар-Ола

5 июня 2009 г.

В работе международной конференции, проводимой в рамках международного проекта *IB_JEP-26038-2005 Темпус «Тренинг, расширение международного сотрудничества и развитие потенциала для устойчивого лесопользования в Поволжье»*, приняли участие ведущие специалисты министерств лесного хозяйства Поволжья Российской Федерации, деканы лесохозяйственных вузов, ученые и преподаватели из университетов и техникумов России, представители университетов Хельсинки (Финляндия), Аристотеля (Греция), БОКУ (Австрия), Дрездена (Германия), Падуи (Италия), Национального лесного университета Украины, Ташкентского института ирригации и мелиорации (Узбекистан), Государственного аграрного университета Молдавии и Лесного научно-исследовательского института Венгрии.

Конференция проводилась при поддержке Европейской комиссии по образованию и культуре, Европейского института леса, Международного союза лесных научных организаций (IUFRO), программы Фулбрайта (США), Министерства лесного хозяйства Республики Марий Эл, Марийского государственного технического университета. В рамках конференции был проведен семинар-совещание «Интеграция учебных заведений лесного профиля Приволжского федерального округа для совершенствования научного, методического и кадрового обеспечения устойчивого управления лесами».

На пленарных заседаниях были представлены доклады по направлениям:

- взаимодействие вузов Приволжского федерального округа при переходе на многоуровневую подготовку специалистов лесного профиля,
- международное сотрудничество в лесных вузах,
- проблемы интеграции лесного хозяйства стран Европейского Союза,
- планирование лесного хозяйства и лесоводственные решения в условиях меняющегося климата,
- экономические аспекты проблем устойчивого управления лесами,
- опыт проведения проектов Темпус другими вузами.

Секционные доклады были посвящены вопросам: биологической продуктивности лесов, кадровой и научной политике в области устойчивого управления лесами, современным технологиям учета лесных ресурсов, городским лесам, оценке и маркетингу лесных услуг.

Участники конференции отметили, что за три года проекта Темпус IB_JEP-26038-2005 университетами-партнерами и организациями (Хельсинки, Аристотеля, Боку, Падуя, Дрезден, МарГТУ и woodSCAPE consult) удалось добиться запланированных результатов: 114 специалистов лесного хозяйства Поволжья и преподавателей МарГТУ прошли повышение квалификации; в МарГТУ проведены 6 международных семинаров и 3 виртуальные видеоконференции с участием европейских коллег; 51 сотрудник лесного хозяйства (в том числе министры и заместители министров департаментов лесного хозяйства Республики Марий Эл и Нижегородской области), преподаватели МарГТУ прошли стажировку в Университете Хельсинки (Финляндия), Дрезденском техническом университете (Германия), Университете г. Падуя (Италия), Университете г. Салоники (Греция) и в Дании при поддержке компании Вудскейп консалт; организовано сообщество (network) специалистов лесного хозяйства по вопросам проекта; в МарГТУ создан зал видеоконференций, который на сегодняшний день осуществляет видеоконференц-связь с вузами Европы, США и Израиля; преподавателями МарГТУ подготовлены 16 новых

курсов в области современного лесоводства с учетом опыта европейских стран для переподготовки специалистов лесохозяйственного производства; издано 12 учебных пособий как в обычном бумажном формате, так и в виде e-learning курсов, выложенных на сервере МарГТУ; всего в проекте участвовали 42 российские и европейские организации; разработан учебный план курсов переподготовки специалистов лесного хозяйства при Институте дополнительного профессионального образования.

Ознакомившись во время международной конференции с факультетом «Лесного хозяйства и экологии», его кадровым потенциалом, учебной и научной деятельностью, международными связями и связью с производством, участники конференции положительно оценили работу коллектива МарГТУ в направлении кадрового и научного сопровождения устойчивого управления лесами в Российской Федерации.

Участники конференции приняли решение:

1. Создать лесной образовательный кластер на базе МарГТУ, в который войдут лесные вузы и техникумы, а также лесохозяйственные предприятия Поволжья.
2. Консорциуму проекта Темпус продолжить работу по развитию международной работы с привлечением дополнительного числа вузов лесного профиля, сделав упор на развитие магистерских программ и проектов в области эко-инноваций.
3. Для обеспечения устойчивого лесопользования и воспроизводства лесных ресурсов России необходимо продолжение поиска лесоводственно- и экологически эффективных технологий естественного возобновления лесов.
4. Необходимо уделить особое внимание естественному возобновлению основных лесобразующих пород с целью повышения их устойчивости. В то же время целевое выращивание мелкотоварной древесины с коротким оборотом рубки должно опираться на плантационное хозяйство.
5. Для повышения качества научных исследований в российских вузах необходимо развивать международное сотрудничество, обмен идеями и сотрудниками в рамках научных проектов с зарубежными вузами. Просить зарубежных коллег по проекту участвовать в составе экспертных комиссий по оценке программ российских вузов.

АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Вышло из печати учебное пособие Т. В. Токаревой «English for foresters» (Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – 220 с.), которое успешно используется при подготовке специалистов лесного хозяйства к международному общению.

Актуальность такого пособия связана с расширением международных контактов, где особое внимание уделяется английскому языку как языку международного общения. Специалисты лесной отрасли России все активнее содействуют налаживанию научных связей за рубежом, представляя нашу страну в международных проектах, конференциях и симпозиумах.

Ввиду отсутствия современных учебников английского языка, раскрывающих основные тенденции развития лесного хозяйства в мире, осложняется подготовка студентов лесохозяйственных факультетов вузов.

Учебное пособие «English for foresters (Английский язык для специалистов лесного хозяйства)» призвано способствовать приобретению студентами коммуникативной компетенции, уровень которой позволит использовать английский язык как в профессиональной деятельности, так и для целей самообразования.

Материалы для создания пособия собраны автором во время прохождения стажировки в Университете Хельсинки (Финляндия), Университете Аристотеля (Греция) и в процессе участия в проекте ТЕМПУС. Тексты и иллюстрации, представленные в пособии, взяты из журналов и книг, изданных за рубежом, интернет-сайтов. Особенностью пособия является использование информации о современном состоянии лесов, проблемах и перспективах развития лесной отрасли в Финляндии, США, Германии, Австрии, Греции, России и других странах.

Данное пособие включает комплекс упражнений и заданий, обеспечивающих профессионально-ориентированную иноязычную подготовку обучаемых. Особое внимание уделяется работе с современными терминами, используемыми в лесной отрасли. Пособие способствует формированию навыков чтения и понимания специальной литературы на английском языке, расширению словарного запаса по специальности, развитию коммуникативных навыков в сфере профессионального общения.

В результате экспериментальной работы получено подтверждение, что пособие является эффективным средством подготовки специалистов лесного хозяйства к международному сотрудничеству.

Пособие имеет гриф Учебно-методического объединения по образованию в области лингвистики Министерства образования и науки Российской Федерации и рекомендовано в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по лесохозяйственным и лесотехническим специальностям. Оно предназначено для обучения студентов и аспирантов лесохозяйственных факультетов вузов, а также специалистов лесного хозяйства, изучающих английский язык с учетом потребностей в данной профессиональной сфере.

Э. А. Курбанов

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Вестник Марийского государственного технического университета» принимает к публикации статьи, соответствующие профилю издания, объемом не более 15 страниц, включая рисунки.

Статья должна содержать только оригинальный материал, отражающий результаты завершенных исследований автора, ранее не публиковавшихся.

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).

Автор передает журналу в лице его учредителя сроком на пять лет следующие исключительные имущественные права на материал: право воспроизводить произведение (право на воспроизведение); право распространять экземпляры произведения любым способом, в том числе продавать, сдавать в прокат (право на распространение); право импортировать экземпляры произведения в целях распространения (право на импорт); право сообщать произведение для всеобщего сведения по кабелю, проводам или с помощью иных аналогичных средств (право на сообщение для всеобщего сведения по кабелю); право переводить произведение (право на перевод).

Заявка об опубликовании материала, поступившая в адрес журнала, является конклюдентным действием, направленным на возникновение указанных прав и обязанностей.

Требования к оригиналам представляемых 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 представлена в электронном виде и компьютерной распечатке (2 экз.) на бумаге формата А4. Размер шрифта 12 пт, межстрочный интервал одинарный. Поля: справа – 2 см, слева, сверху и снизу – 3 см., отступ первой строки на 0,75 см.

На первой странице статьи слева печатается УДК (размер шрифта 12 пт, прямой, светлый). Ниже, справа – инициалы, фамилия автора (размер шрифта 14 пт, курсив, жирный). Ниже, по центру – название статьи (размер шрифта 14 пт, прямой, полужирный, прописью).

Далее размещается аннотация. Аннотация статьи представляется на **русском и английском языках**.

Рисунки, графики, таблицы должны иметь нумерационный и тематический заголовки (размер шрифта 10 пт, заголовки полужирный).

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, должность, ученая степень, область научных интересов, количество опубликованных работ, телефон, e-mail, домашний адрес.

К статье прилагаются следующие **документы**:

- рекомендация кафедры;
- экспертное заключение о возможности опубликования.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Подписка на журнал осуществляется по каталогу «Газеты. Журналы» Агентства «Роспечать» (подписной индекс **42920**, тематический указатель: Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов).

Следующий номер журнала выйдет в декабре 2009 года.